

Relatório

***Divisão de Geologia Aplicada - DIGEAP
Departamento de Gestão Territorial - DEGET
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial - DHT***

Cadastro de ocorrências de Movimentos Gravitacionais de Massa.

Rio do Sul - Santa Catarina.

Thiago Dutra dos Santos

Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Agosto 2021

Sumário

Introdução	3
Justificativa	5
Objetivos	5
Localização	5
Contextualização do meio físico	8
Métodos de campo	12
Atividades pré-campo	12
Atividades de campo	13
Atividades de pós-campo	17
Considerações	17
Análise de Campo	17
Deslizamentos planares induzidos	22
Deslizamentos planares naturais	23
Processos geo-hidrológicos	28
Metodológicas	37
Recomendações	43
Equipe técnica	43
Referências Bibliográficas	43

Introdução

É notório que o aquecimento climático está mudando os padrões climáticos e afetando a frequência e a magnitude dos fenômenos naturais. Os eventos naturais têm se tornado cada vez mais recorrentes no Brasil. Ao mesmo tempo, o crescimento populacional e o processo de ocupação desordenada aumentam a fragilidade do meio físico e expõe um número significativo de pessoas ao risco geológico. Como consequência, causa prejuízos e perdas socioeconômicas.

Devido aos recentes desastres no Brasil, o Governo Federal articulou diversas iniciativas para otimizar as ações de prevenção e resposta aos protocolos de desastres naturais. A lei federal 12608/2012 instituiu a política nacional de defesa e proteção civil, que orienta as atividades de prevenção e resposta na gestão dos riscos geológicos. Essa lei designou o SGB/CPRM para promover e fornecer planos de informação em escala municipal para apoiar a tomada de decisões de estratégias governamentais e reduzir - mitigar os danos desencadeados pelos fenômenos geohidrológicos.

Recentemente, o alto vale do Itajaí vem sendo atingido por fortes chuvas e causando desastres e transtornos às cidades em diversos anos (Pozzobon *et al.*, 2018).

O mais recente ocorreu entre 16 e 17 de dezembro de 2020, na região do Alto Vale do Itajaí, nos municípios Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul. Foram registradas fortes precipitações (Michel *et al.*, 2021) que desencadearam uma série de processos de Movimentos Gravitacionais de Massa (MGMs). Outras regiões do Estado de Santa Catarina foram afetadas em menor porte, como São José e Palhoça na Grande Florianópolis.

O maior volume foi observado em Presidente Getúlio, segundo dados oficiais, com 125 mm, sendo que 120 mm foram observados em apenas 6 horas, entre 22h do dia 16/12 e 4 h do dia 17/12 (Michel *et al.*, 2021). A Figura 01 ilustra a precipitação acumulada em 12 horas (CIOP-DCSC op cit).

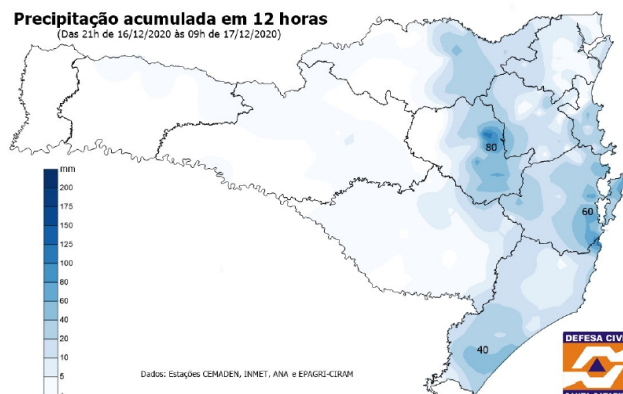


Figura 01: Precipitação acumulada em 12hs no Estado de Santa Catarina (Informe 06.2020/CIOP-DCSC).

A concentração de chuva ficou restrita nos contrafortes da Serra do Mirador, que separa os municípios de Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul. A área está inserida na Bacia do Rio Itajaí-Açu.

O evento deflagrou deslizamentos generalizados nas escarpas sustentadas por rochas sedimentares pertencentes a Bacia Paleozóica do Paraná, por sua vez, esses movimentos gravitacionais de massa (MGMs) iniciais se fluidificaram gerando fluxos de detritos e enxurradas. A Figura 02 ilustra os eventos nos municípios afetados.

A coordenadoria regional da Defesa Civil de Presidente Getúlio reportou ocorrência de diversos pontos de deslizamento de terra e enxurrada, sendo o Bairro Revólver o mais atingido (Michel *et al.*, 2021). As informações preliminares apontam para 10 óbitos e cerca de 20 desaparecidos. Na mesma região, mas em bacias hidrográficas diferentes, nos municípios de Rio do Sul e Ibirama, também foram reportados óbitos e destruição.



Figura 02: Fotos do evento nos municípios atingidos. Cortesia dos agentes das defesas civis regionais.

Justificativa

Os projetos de carta de suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa (MGMs) e Inundações e Mapeamento de Perigo a MGMs utilizam dados de cicatrizes de deslizamentos para calibrar os parâmetros de modelagem e para qualificação dos graus de severidades dos processos. Tendo isto em vista, existe uma necessidade de realizar estudos assim que acontecem os eventos, para melhor caracterização dos processos, coletar dados e assim ter uma maior assertividade na geração de produtos de prevenção a desastres naturais.

Objetivos

Este documento tem por finalidade apresentar as atividades realizadas, os dados coletados e as informações geradas nos estudos realizados no município de Presidente Getúlio - Santa Catarina. As atividades de campo foram realizadas entre os dias 8 e 13 de fevereiro de 2021.

Os objetivos da etapa de campo incluíram:

- Coletar dados dos MGMs gerados pelo evento de chuvas intensas;
- Criação de base de dados sobre o evento ocorrido no Vale do Itajaí (16-17/12/2020);
- Análise estatística sobre os parâmetros geotécnicos favoráveis a geração deste evento;
- Compreender melhor os processos para aplicações futuras.

Localização

Rio do Sul é um município brasileiro do estado de Santa Catarina. Localiza-se entre a Serra do Mar e a Serra Geral, com altitude de 339,88 metros acima do nível do mar. O Ponto culminante está localizado na Serra do Mirador, com 824m de altitude (Figura 03).

O município é constituído por uma área territorial de 260,357 Km². Sua população estimada em 72.006 habitantes (IBGE, 2020). A densidade demográfica é de 235,05 hab/Km². O Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) corresponde a 0,802 (IBGE, 2021), com PIB per capita estimado em 38.796,66 R\$ (IBGE, *op.cit.*). O gentílico é rio-sulense. O Quadro 01 apresenta os principais bairros e localidades do município. A Figura 04 apresenta as principais zonas estratégicas do município.

Principal município da região do Alto Vale do Itajaí, faz divisa com os municípios de Laurentino, Agronômica, Aurora, Lontras, Ibirama e Presidente Getúlio.

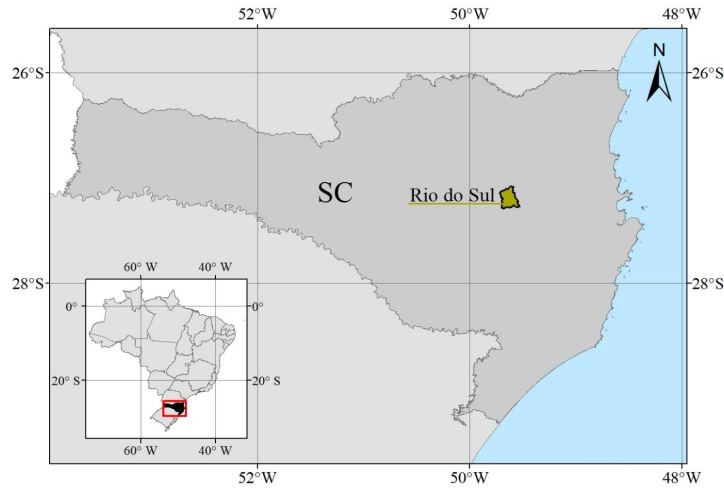


Figura 03: Localização do município de Rio do Sul – SC (Fonte: Dias *et al.*, 2019).

Fundado em 1931, possui forte influência germânica e italiana na cultura de seu povo, tanto na arquitetura quanto nos costumes locais. Sua economia é baseada na agricultura, indústria e serviços diversificados.

Apresenta 83.5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 32.7% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 46.8% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio) (Figura 05).

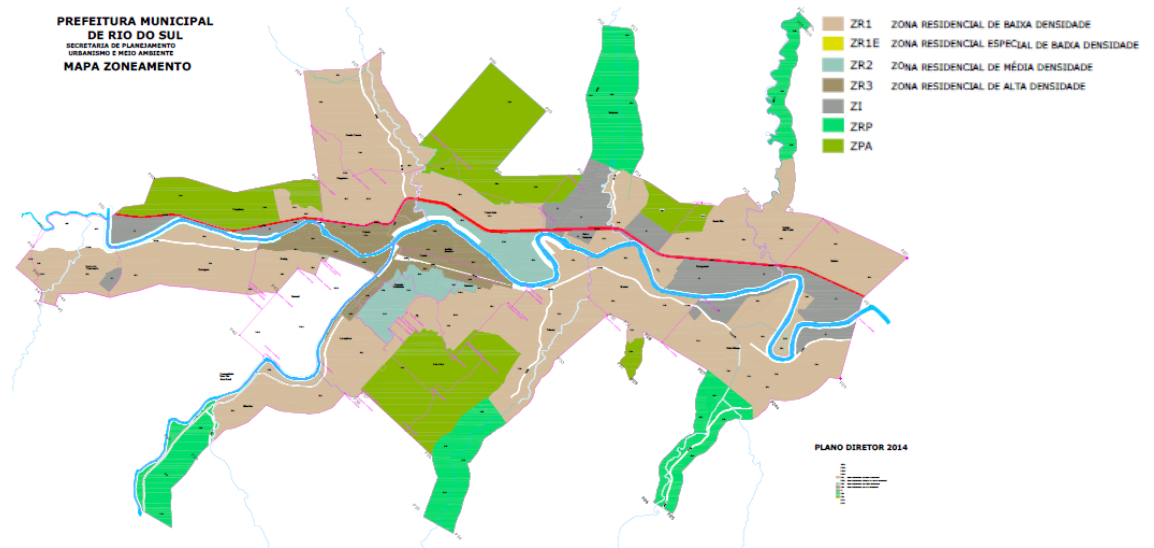


Figura 04: Localização das principais zonas de Rio do Sul. Retirado do Plano Diretor Municipal de Rio do Sul - SC - 2014. Legenda: ZI = Zona Industrial, ZRP = Zona de Preservação Rural, ZPA = Zona de Preservação Ambiental



Figura 05: Foto da área urbana central do município de Rio do Sul – SC (Fonte: <https://www.sc.gov.br/conhecasc/municipios-de-sc/rio-do-sul>).

Quadro 01: Principais bairros e localidades de Rio do Sul.

Albertina	Pamplona
Barra do Trombudo	Progresso
Barra Itoupava	Rainha
Barragem	Santa Rita
Bela Aliança	Santana
Boa Vista	Sumaré
Bremer	Taboão
Budag	Valada Itoupava
Canas	Valada São Paulo
Cantagalo	Área Rural
Centro	
Eugênio Schneider	
Fundo Canoas	
Jardim América	
Laranjeiras	
Navegantes	

Contextualização do meio físico

O clima classifica-se como mesotérmico brando, subtipo 2A (Pandolfo *et al*, 2002), com temperaturas amenas durante o ano, e média anual em torno de 17° a 18°C. No inverno as temperaturas podem cair para 0° e no verão superar os 30°. e a precipitação anual é de 1300 a 1500 milímetros. Em janeiro as precipitações mensais variam entre 130 a 150 mm.

Rio do Sul está inserido na bacia hidrográfica do Rio Itajaí-Açu. Possui uma área total de 15.500 Km², com 24,171 Km de cursos d'água e uma densidade de drenagem de 1,55 Km/Km². O centro da cidade caracteriza-se pelo encontro entre os rios Itajaí do Sul e do Oeste.

Maack (2001) separa o estado do Paraná e Santa Catarina em cinco compartimento geomorfológicos, sendo eles:

- Litoral - Regiões recentes de entulhamento marinho e terrestre, planícies de aluvião, enseadas de ingressão e porções de abaixamento do complexo cristalino.
- Serra do Mar - Rochas cristalinas proterozóicas e arqueanas que formam uma serra marginal e sobrepujam os planos de nível do planalto interior.
- Primeiro planalto - (planalto de Curitiba) Zona de eversão entre a serra do mar e a escarpa devoniana, são formadas por rochas constituintes do embasamento da bacia do paraná.
- Segundo planalto - planalto sobre as rochas sedimentares de idade paleozóica da bacia do paraná. (local de estudo).
- Terceiro planalto - planalto sobre os gigantescos derrames basálticos que estão no oeste de SC e PR, são limitados pela escarpa formada por arenitos de idade mesozóica (botucatu e pirambóia) .

A distribuição espacial das unidades litoestratigráficas está intimamente ligada com o padrão geomorfológico. O relevo é formado especialmente por planaltos dissecados, rampas de colúvio/depósitos de tálus e planícies de inundação (Dias *et al.*, 2019) (Figura 06). Apresenta com grandes variações de altitude entre interflúvios e micro-bacias hidrográficas, derivados de erosão diferencial. O eixo central do município corresponde a ao sedimentos de acumulação fluvial do rio Itajaí-Açu.

O planalto da área de estudo é dissecado por rios, com a área urbana estando na parte mais baixa e central, na planície de inundação do Rio Itajaí-açu. Seis córregos/rios desaguam no Itajaí-Açu, sendo 3 a norte e 4 a sul (Figura 07), o mais importante sendo o rio Itajaí do sul. Esses córregos formam vales mais fechados que são propícios a corridas e enxurradas.



Figura 06: Visão geral das principais unidades geomorfológicas que compõem a região (retirado de Dias et al., 2019).

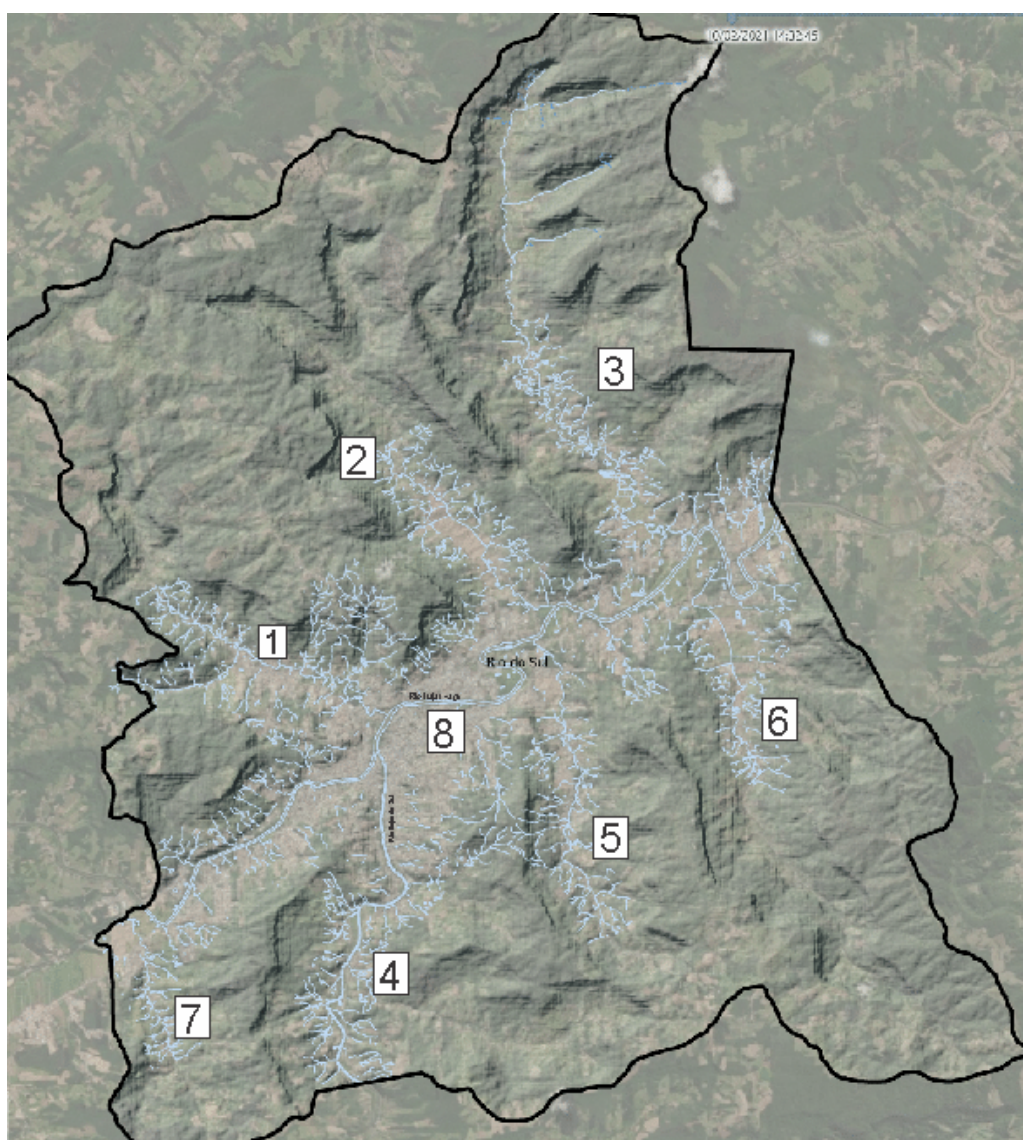


Figura 07: Município de rio do sul no centro (8) Rio Itajaí-Açu, a sudoeste (4) Rio Itajaí do Sul, (3) bacia do evento Dez 2020, (1,2,5,6 e 7), bacias de vale aberto que abastecem o Rio Itajaí-Açu.

Nas laterais dos canais fluviais e ocupada, em grande parte, pela área urbanizada e plantações de arroz (rizicultura), estão as planícies de inundação. Esta unidade possui amplitude zero e inclinação de até 3° (Dias *et al.*, 2019). São aluviões formados por sedimentos areno-sílticos-argilosos inconsolidados.

A geologia local (Figura 08) é composta por rochas paleozóicas da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2017). Segundo Krebs & Menezes Filho, 1984, compreendem, do topo para base, arenito ortoquartzítico com estratificações do tipo "Hummockys" e retrabalhamentos por ondas, embutidos em folhelhos marinhos, pelitos cinzas esverdeados micáceos; bioturbação por raízes e animais; zonas homogêneas de paleossolos; restos vegetais carbonizados e sequência psamítica de arenito fino a médio maduro, feldspático localmente conglomerático.

Sotopostos ocorrem Pelitos, siltitos, argilitos e lamitos, siltitos carbonoso e finas camadas de carvão, estratificação cruzada (fluvial), retrabalhamento por ondas, ambos pertencentes à Formação Rio Bonito (Fm.RB).

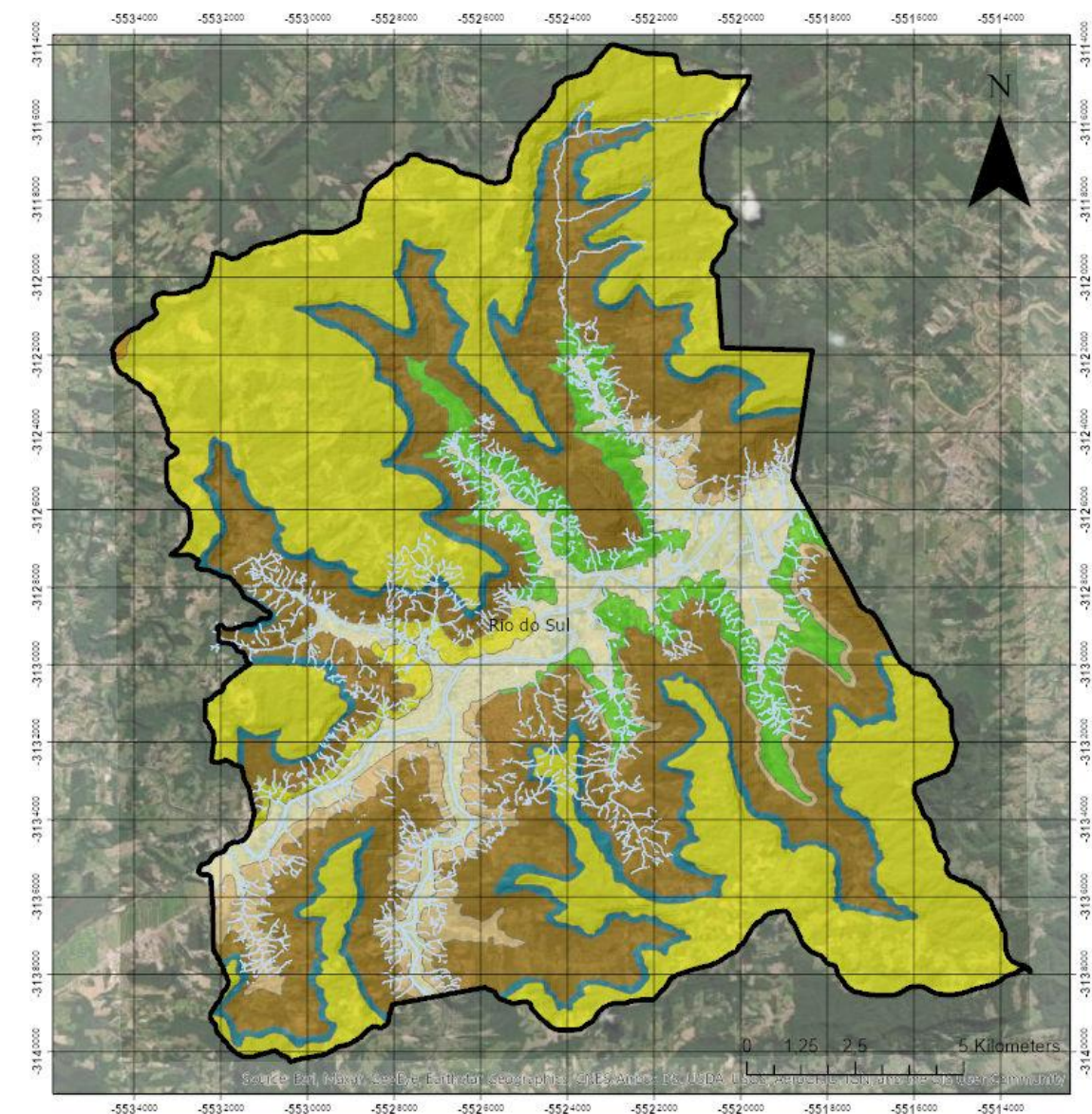
No segundo patamar ocorrem ritmos seguidos de turbiditos, ambos da Formação Rio do Sul (Fm.RdS). No terceiro patamar (menor altitude), que coincide com a planície do Rio dos Índios, ocorrem os arenitos finos e folhelhos pretos (folhelho Lontras), ambos pertencentes a Fm.RdS.

Os lineamentos apresentam orientação N35° - 55°W, subordinadamente, W-E, tanto no embasamento quanto nas coberturas sedimentares, onde são registradas também estruturas com orientação N40° - 50°E. As unidades sedimentares da Bacia do Paraná apresentam fraturas com orientação N50° - 65°E e N25° - 35°W verticais. As unidades estratigráficas do embasamento apresentam orientação N80° - 90°E/70° e N40° - 50°W/ 80° (Oliveira e Nascimento, 2018).

A presença de folhelhos e argilitos confere uma dificuldade natural em escoar grandes volumes de água, visto que este tipo de rocha atua como um selante de baixa permeabilidade.

O Atlas Geográfico de Santa Catarina (SPG/DEGE, 2016) aponta para a presença de cambissolos, álicos e distróficos. Este tipo de solo apresenta baixa permeabilidade, o que influencia a permanência de inundações por um maior período de tempo.

Portanto, a região de Rio do Sul recebe elevados índices de pluviosidade no período mais quente do ano, em uma bacia hidrográfica de alta capacidade. Contudo, a geologia e a pedologia local dificultam a absorção da água.



geologia

litologia_25000_08a

LEGENDA

- Arenito ortozartítico com "Hummocks" e retrabalhamentos por ondas, embudados em folhelhos marinhos, pelotas cinzas esverdeadas micáceas; bioturbação por raízes e animais; zonas homogêneas de paleossolos; restos vegetais carbonizados; camadas de
- Arenito fino sem organização interna com raros fragmentos de folhelhos e seixos pingados de rochas do cristalino; Arenito médio a grosserono base com transição para siltitos/ou folhelho no topo. Diamictitos.
- Depósito de colúvio/tálar.
- Depósito de planície de lavagens originados pelas detritos deixados pela retração das geleiras (moraines, depósitos de cascalho do tipo com a consequente redistribuição dos clastos finos e grossos retem depositados.
- Ritmitos constituídos por interlaminagem de arenito fino a siltítico e argilito cinza, escuro a preto; laminações cruzadas de correntes unidireccionais; truncadas em parte por climbing ripples; raros flases e estrutura de fluidização e bioturbação.
- Sequência pombal de arenito fino a médio maduro, feldspático localmente congomerático. Pelotas, siltos, argilitos e lamitos, siltitos carbonosos e finas camadas de carvão; estratificação cruzada (fluvial), retrabalhamento por ondas (delta, mare).
- Turbiditos clássicos constituídos por siltito arenoso na base com transição para folhelho preto e ou esverdeado no topo de cada ritmo.
- folhelhos pretos com raros seixos e grânulos pingados e concreções carbonáticas singenéticas.
- <all other values>

Figura 08: Mapa geológico de Rio do Sul (Adaptado de Krebs & Menezes Filho, 1984).

Métodos de campo

Para realizar o cadastro das cicatrizes identificadas, desenvolveu-se planilha com informações relevantes sobre a geometria da cicatriz, além de caracterizar elementos considerados importantes do entorno como o tipo de material, a presença de cobertura vegetal, surgência de água, a posição da cicatriz na encosta entre outros. A planilha indicando as informações foi preenchida e encontra-se disponível no [Apêndice A](#).

Quando possível o acesso, as cicatrizes de deslizamentos foram catalogadas e avaliadas diretamente. Para isto, utilizou-se equipamentos de medição como trena a laser ou trena convencional, além do hipsômetro para obtenção das informações necessárias para a classificação. Contudo, caso a ruptura se localiza-se em área de difícil acesso, realizamos coleta de informações dos sobrevoos do Corpo de Bombeiro, modelos digitais de elevação e quaisquer dados gerados pelos departamentos técnicos municipais.

Atividades pré-campo

- Reunião com representante da prefeitura de Ibirama para alinhamento sobre as atividades de campo;
- Levantamento de áreas onde ocorreram deslizamentos através de informações obtidas junto à Defesa Civil Municipal e/ou órgãos responsáveis;
- Leitura de relatório técnico sobre o evento, disponibilizado pela prefeitura de Ibirama (Michel *et al.*, 2021);
- Análise de imagens disponíveis no *Google Earth* e no *Google Street View*, além de informações de localização disponíveis em veículos de comunicação diversos;
- Análise das cartas de suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa e inundação e setorização de risco geológico alto e muito alto;
- Análise de mapas temáticos, tais como, litológico, pedológico, geomorfológico, topográfico, uso e ocupação do território, entre outros;
- Geração de cartas de declividade para definir as inclinações preferenciais à geração de MGMs;
- Confeção de geopdfs temáticos para subsidiar a avaliação em campo; Coleta de outras informações relevantes para o estudo.

Atividades de campo

1. Reunião com representantes da Defesa Civil e da Prefeitura de Ibirama (Figura 09);
2. Desenvolvimento das atividades de campo na visita técnica para avaliação do evento nos três municípios atingidos (Figura 10);
3. Caracterização dos processos e coleta de dados referentes ao evento no Alto Vale do Itajaí (Ibirama, Presidente Getúlio, Rio do Sul) (Figura 11);
4. Levantamento dos parâmetros geotécnicos nas cicatrizes de deslizamentos (Figura 12);
5. Coleta de amostras de solo para caracterização em laboratório (Figura 13).
6. Produção de vídeos e materiais informativos sobre o evento e disponibilização para Assessoria de Comunicação do Serviço Geológico do Brasil.

[Vídeo informativo sobre fluxo de detritos em Presidente Getúlio](#)



Figura 09: Reunião com representantes municipais de Ibirama para contextualização do desastre.

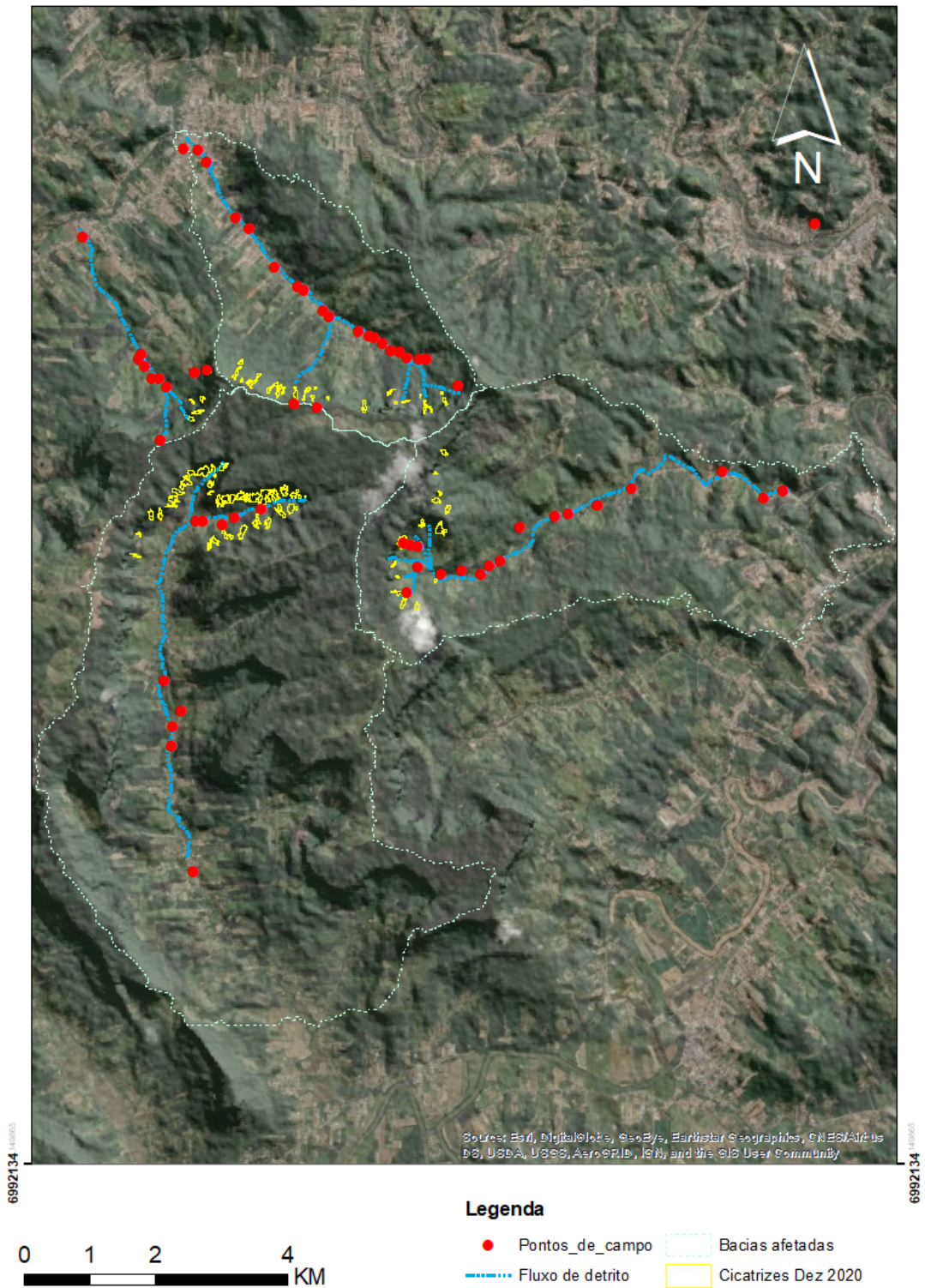
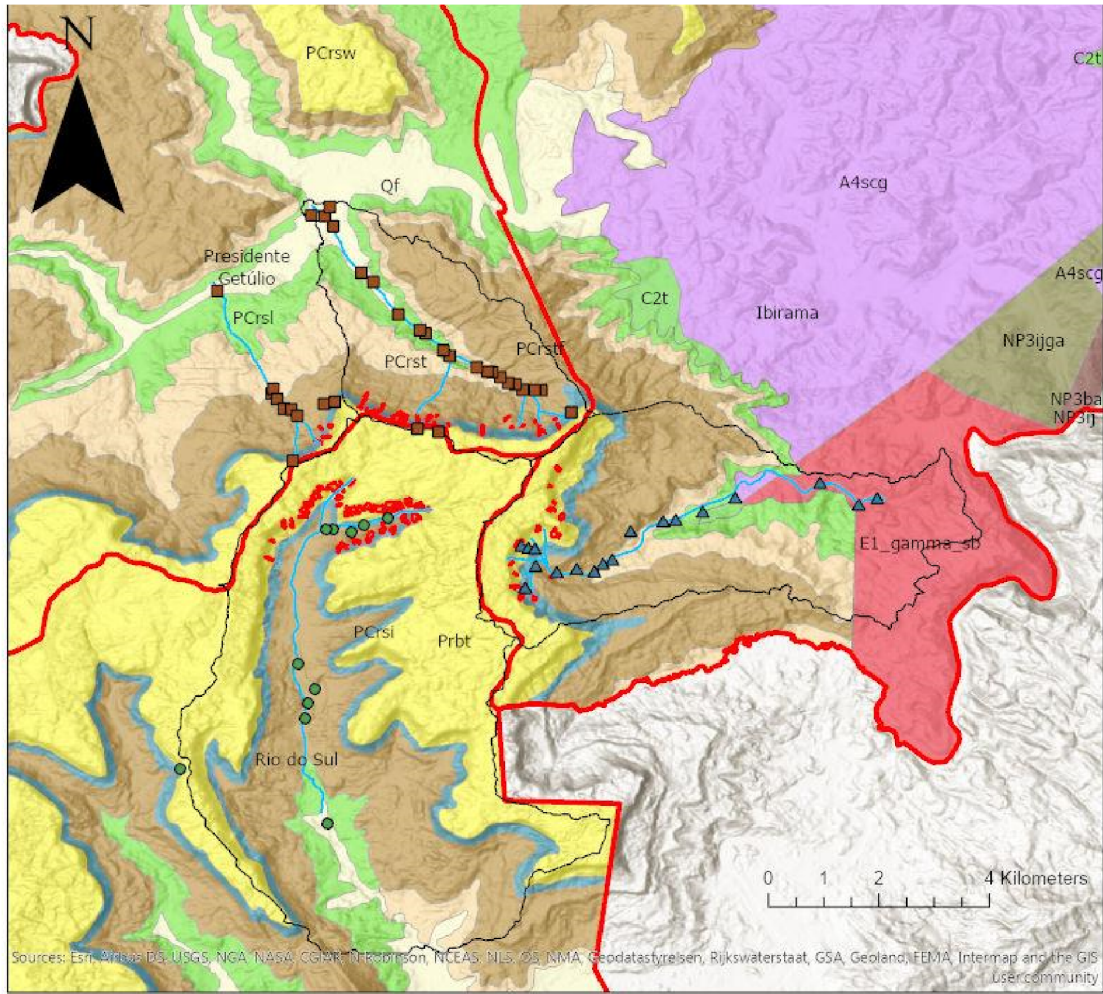


Figura 10: Localização dos pontos de visita técnica para avaliação do evento nos três municípios atingidos.



- Dados de campo**
- ▀ pontos_PC
 - pontos_PS
 - ▲ pontos_PB
- Fluxos**
- - ▬
 - ▬
- limites**
- ▬
 - ▬
- embasamento_1000000**
- Amalco grossa e muito grossa, de coloração variada, raiado fino e amarelado a avermelhado, com estratificação cruzada acanalada de pequeno a grande porte; que podem incluir uma estratificação ondulada; localmente com tochas de pelito drusivo.
 - Amalco, folhelho, silte e argila com sulcinação milimétrica a centimétrica.
 - Amalco e conglomerado com tubos vulcânicos finos arredondados e vários subarredondados. Amalco médio, fino a médio, grossarino; matriz arenosa, estratificação cruzada acanalada de médio ângulo e pequeno porte. Interfícies de
 - conglomerado pontuado com matriz arenosa, amarelo-borrão fino a médio, de composição arenosa com muscovita detrita, mal selecionada com estratificação cruzada acanalada; arealado.
 - Folhelho e silte de azuleiro e preto, duráveis e conglomerado com amarelo-avermelhado, cinza, variado com seixo pinga-rosa, com laminação plano-paralela a horizontal, com sulco, cilindro, flauta e funilado; com tochas onduladas de
 - grosor lacustre ou fluvio-lacustre médio a fino e arredondado, arredio, matriz arenosa grossa, cimentada por quartzo, frágil ao empilhamento com textura microgêlica nas tochas. Substrato arenoso, argila, siltite, flauta.
 - Diagenese granular com grãos arredondados, arredondados, arredios e lenticulares.
 - outros vestígios
- litologia_25000**
- Amalco litologizado com "litologização" e estratificação laminar por ondas, embudada em folhelhos arenosos, folhelho choco arredondado na base; bicoloração por raios e estrías; zonas fossilíferas de paleocostas; matriz vegetal carbonizada; camada de
 - Amalco fino bem organizado lamina com áreas fragmentadas de folhelho e silte; presença de rictus de costado; Amalco médio a grossarino base com transição para a base de folhelho no topo. Banho de
 - Depósito de coloração
 - Depósito de planície de lavagem orgânica pelo deitado deitado pela refracção das geladas (molasses); depósito de casafolho fino com a consequente redistribuição de partículas finas e grossas nos depósitos.
 - Ribeirão arenoso por observação de areia fino a médio e argila choco, casca e preto bem organizado de correntes unidimensionais; truncado em parte por vórtice poppa; matriz arenosa e estrutura de flutuação e borbulha.
 - Sedimento arenoso de arenoso fino a médio, múltiplos localmente conglomerado. Folhelho, silte, argila e barro, silte castanho a feia camada de carvão, estratificação cruzada (KAW), remobilizado por ondas (delta, main)
 - Turbidito elástico cimentado por silte arenoso na base com transição para folhelho preto e su arredondado no topo de cada rito.
 - Folhelho preto com, meio silte e argila de raiado e correntes carbonílicas singulares.

Figura 11: Localização dos pontos relativos às atividades de campo nas bacias atingidas sobre o mapa litológico (Adaptado de: Krebs & Menezes Filho, 1984).



Figura 12: Coleta de dados sobre a geometria e atingimento de deslizamentos planares.



Figura 13: Coleta de amostras para ensaios laboratoriais.

Atividades de pós-campo

1. Organização dos dados coletados em campo e disponibilização aos gestores da DIGEAP e DEGET (documento SIG anexado).
2. Caracterização e delimitação dos processos de MGMs no Alto Vale do Itajaí SC;
3. Confeção das pranchas de risco para o município.
4. Atualização do SIG de Risco Geológico do município e disponibilização para coordenação do projeto.
5. Relatório de cada município sobre o evento de dezembro de 2020 no Alto Vale do Itajaí - SC.

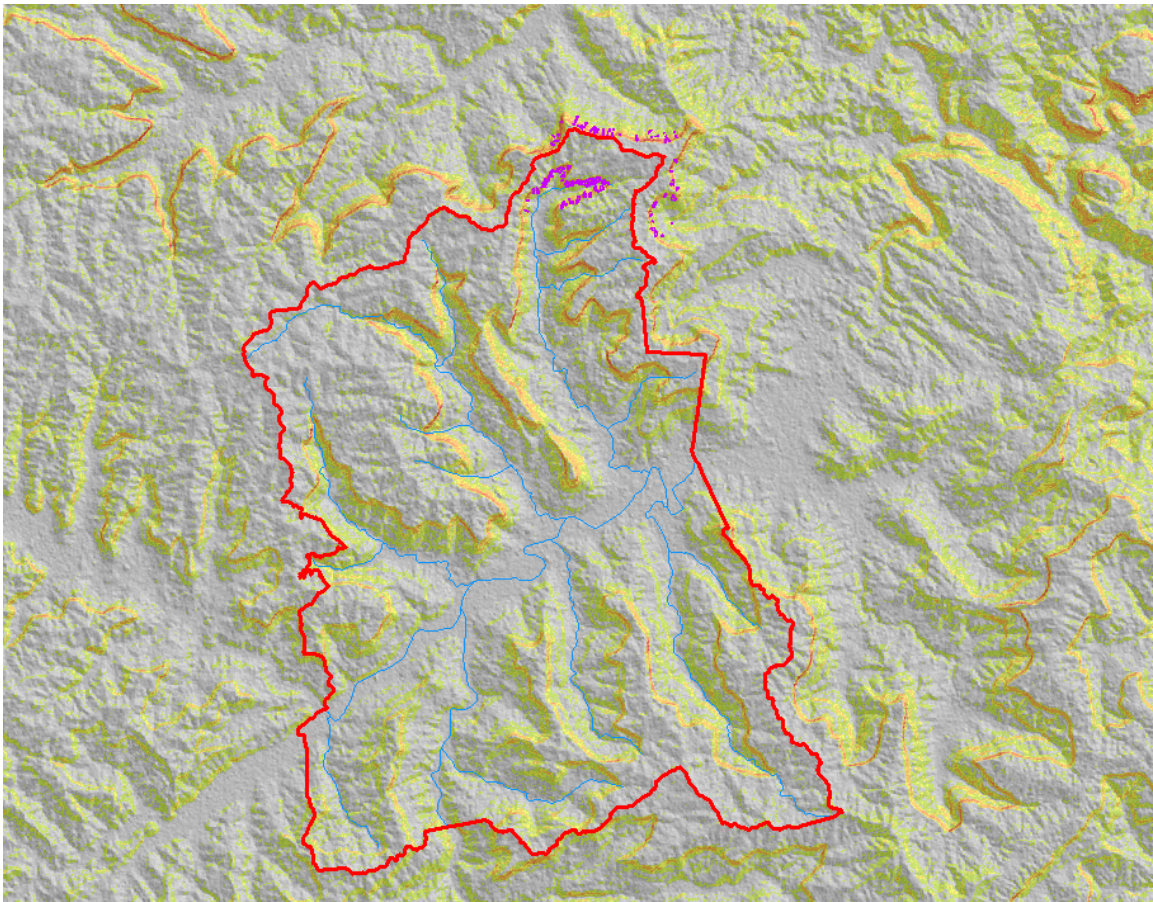
Considerações

● Análise de Campo

Rio do Sul tem uma geomorfologia propícia para geração de movimentos de massa. Apresenta predominância de escarpas, com inclinações entre 45° e 90° (Figura 14) e amplitudes de 148 a 175 metros (Figura 15). As chuvas que ocorreram no Bairro Valada São Paulo foram concentradas nos contrafortes que delimitam o município com Presidente Getúlio e Ibirama. O evento envolveu uma soma de fatores, tais como, precipitações torrenciais localizadas, compartimentação litológica favorável, condições estruturais e o relevo.

O evento de Dez 2020 gerou diversos tipos de processos de Movimentos Gravitacionais de Massa (MGMs):

- Deslizamentos
 - Deslizamentos planares induzidos
 - Deslizamentos planares naturais
- Processos geo-hidrológicos
 - Fluxos de detritos
 - Enxurradas
 - Inundações



Legenda



Figura 14: Carta de inclinação do município.



Figura 15: Escarpas com inclinações entre 45° e 90° e amplitudes de 175 metros.

Os topos dos patamares são sustentados pelos arenitos da Formação Rio Bonito (Krebs & Menezes Filho, 1984). Estes arenitos encontram-se com planos de fraqueza que permitem a individualização de blocos. Estes blocos exerceram sobrepressão nas rochas ritimicas e auxiliaram a deflagração do evento.

Abaixo ocorre o ritimito, rocha com intercalações de arenitos finos a siltítico com bandas de argilitos cinzas. As intercalações entre as bandas apresentam diferenças mecânicas que favorecem a geração de processos. Os ritimitos apresentam estrutura de fluidização, isto indica registro pretérito da disponibilidade mecânica à geração de MGMs.

A maioria das cicatrizes estão na litologia representada pelo arenito (Figura 16), subordinadamente ela acontece nos ritimitos. Também foi observado deslizamento do tipo solo-rocha.

É importante frisar que algumas das rochas sedimentares presentes foram geradas por processos de movimentos gravitacionais de massa pretritos. As fácies diamictíticas correspondem a depósitos gerados por fluxos gravitacionais coesivos de alta densidade, denominados fluxo de detritos coesivos ou Fluxo Hiperconcentrado (Guimarães *et al.*, 2015).

As *fácies* conglomeráticas foram formadas a partir de fluxo turbidítico de alta densidade. Algumas *fáceis* areníticas podem ser explicadas por fluxo turbidítico de baixa densidade ou por sedimentação episódica (Guimarães *et al.*, 2015)

Guimarães *et al.*, 2015 apontam uma faciologia arenítica formada por estratos tabulares centi a decimétricos. Formado por grãos de quartzo, subarredondados, bem selecionados e maduros. Apresentam dobras convolutas, com estratificações tabulares e ripples requilares. Estas rochas foram formadas a partir da fluidização de sedimentos inconsolidados.

Mitchel *et al.*, 2020 aponta para pelo menos 98 deslizamentos nas escarpas da Serra do Mirador.

Na etapa de campo realizou-se coleta dos parâmetros geotécnicos das cicatrizes de deslizamentos (Figura 17).

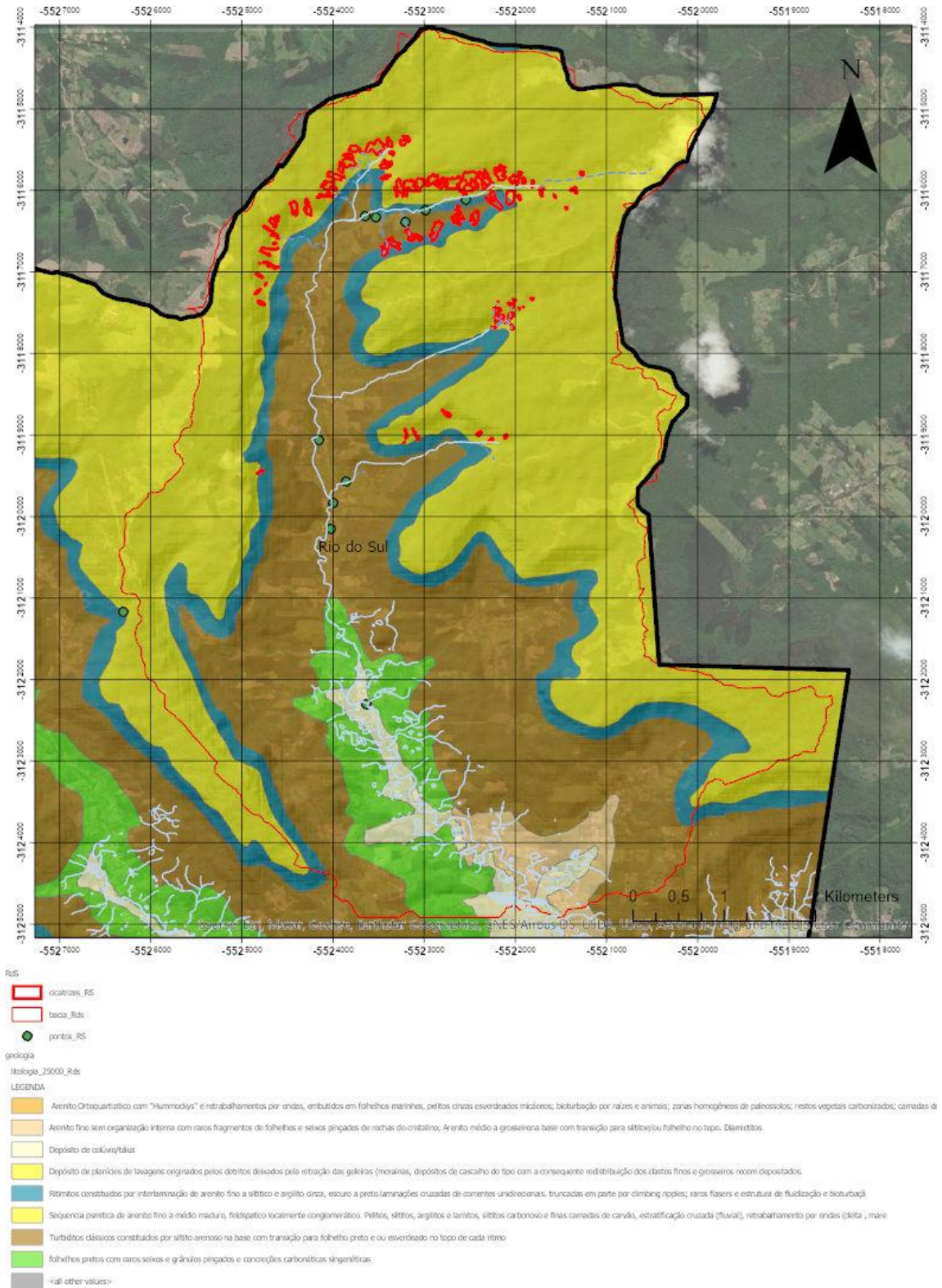
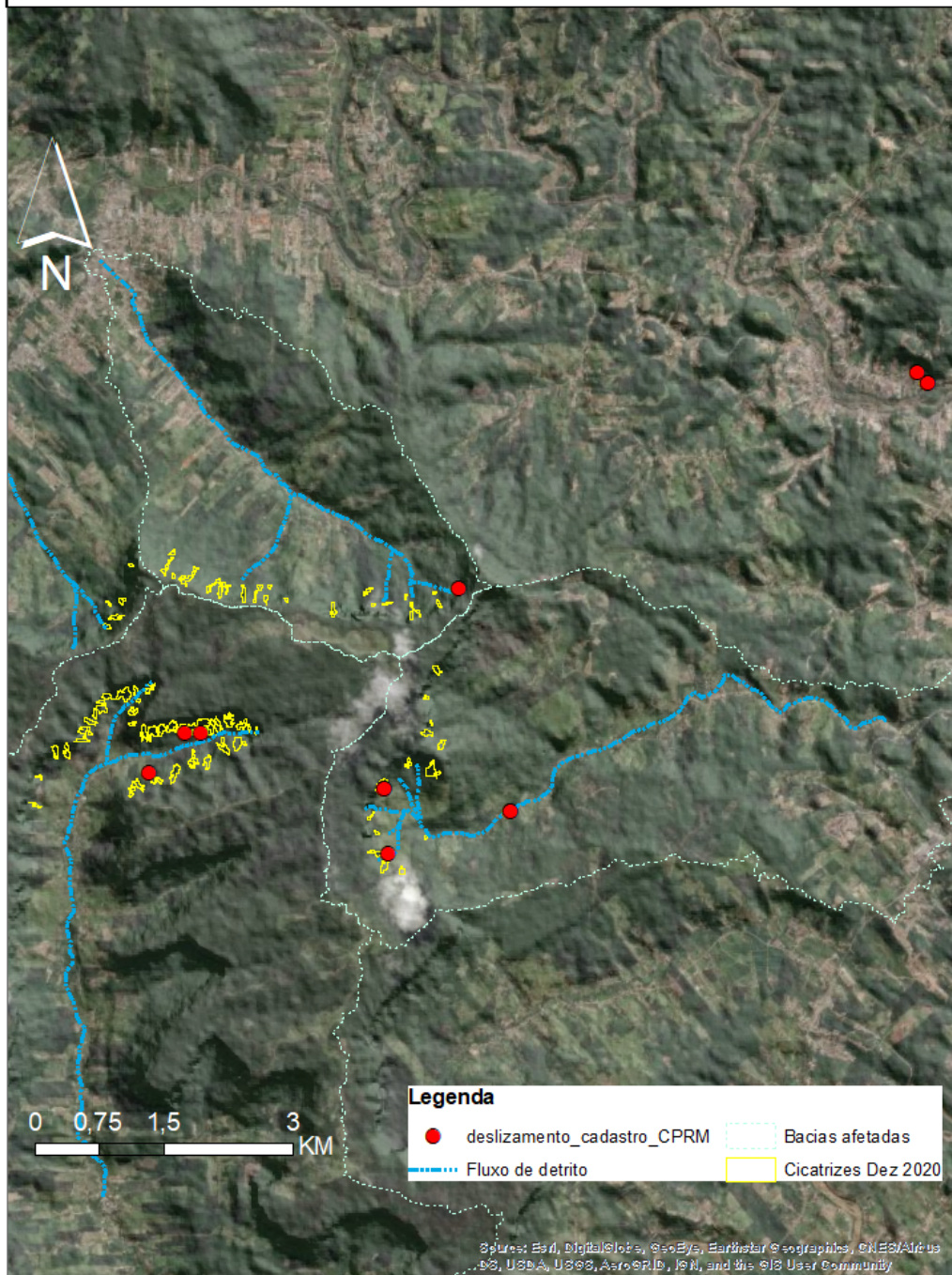


Figura 16: Mapa litológico da localização Valada São Paulo (adaptado de Krebs & Menezes Filho, 1984).

635576 000518



635576 000518

1995879 004448

Figura 17: Localização das cicatrizes cadastradas nas atividades de campo.

- **Deslizamentos planares induzidos**

Os deslizamentos de pequeno porte, geralmente encontrados em encostas com topografia natural modificada de forma inadequada. A maioria concentrado na área urbana e periurbana.

Em geral, são de pequeno porte, com superfície de ruptura de até 15 metros. Apresentam ângulo de ruptura variando entre 30° a 40°. Ocorrem parcialmente vegetados. Mobilizando material estimado em média de 110 m³. Com atingimento limitado ao máximo do comprimento. Pela análise de campo, estes foram condicionados pela atividade antropogênica. Entende-se que a intervenção inadequada fragilizou o relevo, de suscetibilidade natural média, e potencializou o início dos processos. Neste estudo adotou-se o termo **deslizamentos planares induzidos** (Figura 18).



Figura 18: Exemplo de deslizamento planar induzido por atividade antropogênica (Rio do Sul - SC).

- **Deslizamentos planares naturais**

Os deslizamentos planares naturais ocorreram nos três municípios visitados, principalmente nas escarpas dos patamares. São de grande porte, com superfície de ruptura entre 40 a 100 metros. Apresentam ângulo de ruptura variando entre 35° a 70° (Figura 19). Apresentam Razão D/C (distância do material mobilizado pelo comprimento da superfície de ruptura) maior que 1,0. Ocorrem vegetados. Mobilizando material estimado em média de 3362 m³. A distribuição destes deslizamentos pode ser visualizada na Figura 20.



Figura 19: Exemplo de deslizamento planar natural.

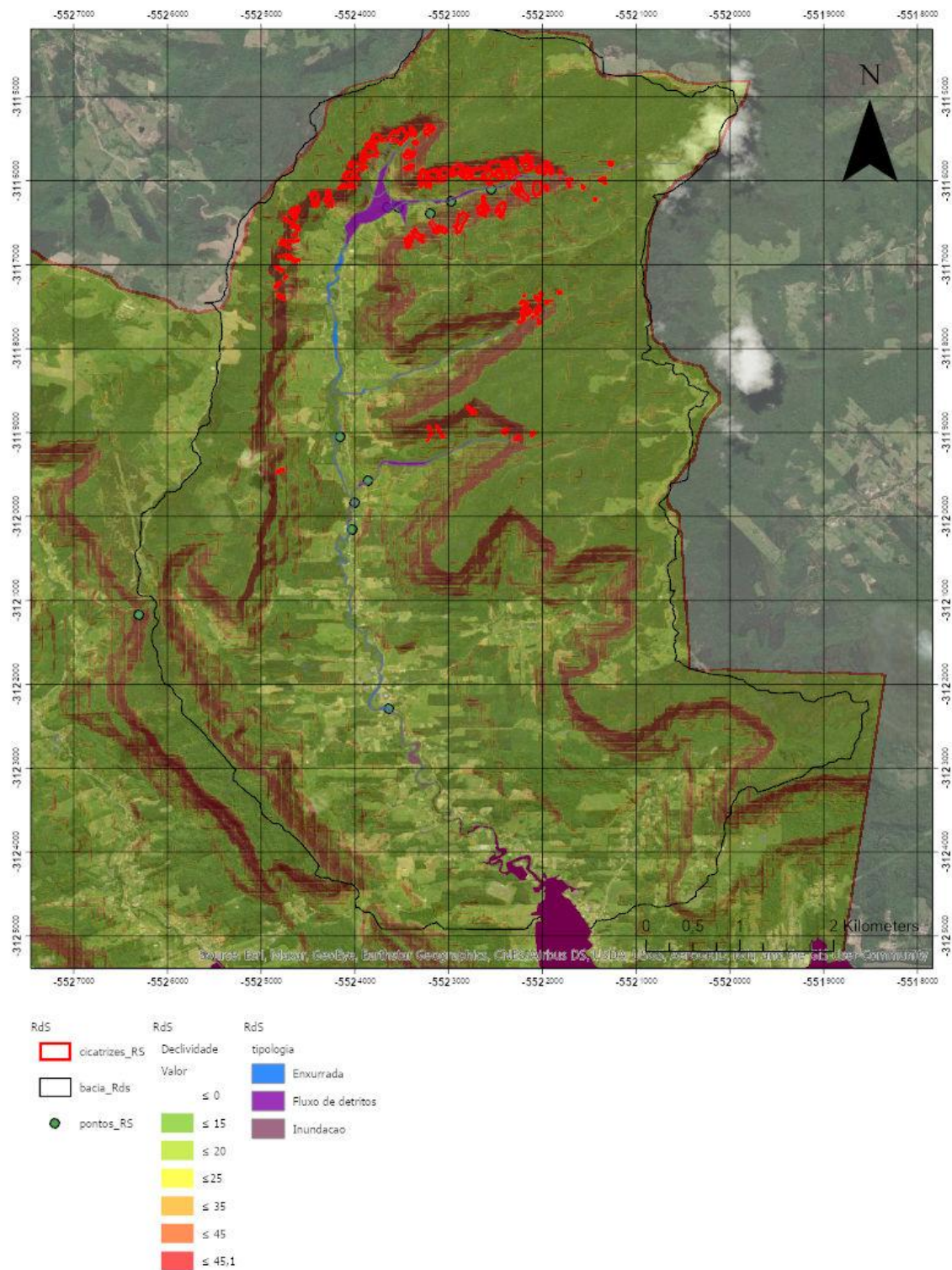


Figura 20: Distribuição das cicatrizadas confrontadas com a carta de inclinação.

A Tabela 01 apresenta os parâmetros morfométricos dos deslizamentos cadastrados nas atividades de campo.

Tabela 01: Cadastro dos parâmetros morfométricos dos deslizamentos de terra no Alto Vale do Itajaí - SC.

Apêndice A: Cadastro de deslizamentos de terra nos municípios do Alto Vale do Itajaí (SC) - 16-17/12/2020.																				
FID	Município	Localização	UTM E	UTM N	Tipologia do processo	Largura da superfície de ruptura (m) [1]	Largura média da superfície de ruptura (m) [2]	Largura do material deslocado (m) [3]	Comprimento da superfície de ruptura (m) [4]	Altura da superfície de ruptura (m) [5]	Distância da superfície de ruptura (m) [6]	Distância da área de atingimento (m) [7]	Espessura do material transportado (m) [8]	Ângulo de ruptura (°) [9]	Ângulo da área de deposição (°) [10]	Volume do material transportado (m ³) [11] = [2]x[4]x[8]	Tipo de Talude	Curvatura do Talude (Horizontal)	Curvatura do Talude (Vertical)	Condição de saturação do terreno
0	Ibirama	Getúlio Var	646289	7006288	Deslizamento Planar	14,1	14,1	14,1	9	9		8,2	1	55,3	15	126,9	corde	Concava	Concava	Saturado
1	Ibirama	Getúlio Var	646289	7006288	Deslizamento Planar	7,5	7,5	7,5	14,3	14,3		8	1	37,6	15	107,25	corde	Concava	Concava	Saturado
2	Ibirama	Getúlio Var	646289	7006288	Deslizamento Planar	7,5	7,5	7,5	14,7	14,7		8	1	38,2	22	110,25	corde	Concava	Concava	Saturado
3	Ibirama	thur Kramb	646163	7006424	Deslizamento Planar	7,4	7,4	7,4	11	11		3,2	1	40	15	81,4	corde	Concava	Concava	Saturado
4	Ibirama	inirão das Pe	641432	7001306	Deslizamento Planar	12	12	12	8	30		15	1,7	25	22	163,2	Natural	Concava	Concava	Saturado
5	Ibirama	inirão das Pe	641432	7001306	Deslizamento Planar	3	3	3	14	27		18	1,7	31	20	71,4	Natural	Concava	Concava	Saturado
6	Ibirama	inirão das Pe	640018	7000805	Deslizamento Planar	71,25	71,25	40	44	152	100	207	1,7	62,1	12,8	5329,5	Natural	Concava	Concava	Saturado
7	Ibirama	inirão das Pe	639969	7001571	Deslizamento Planar	58	58	83,4	78	110		35	1,3	64	14,9	5881,2	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
8	Ibirama	inirão das Pe	639969	7001571	Deslizamento Planar	35	35	41	63,4	99		41	1,3	62	19,2	2884,7	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
9	Ibirama	inirão das Pe	639969	7001571	Deslizamento Planar	36,5	36,5	38	80	109		38	1,3	72,7	14,9	3796	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
10	sideinte Get	Revólver	640623	7003906	Deslizamento Planar	15	15	25	47	115	77	184	1,8	58,3	16,9	1269	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
11	Rio do Sul	lada São Pa	637832	7002211	Deslizamento Planar	30	30	49	96	171	82,4	183	1,5	56,3	23	4320	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
12	Rio do Sul	lada São Pa	637646	7002221	Deslizamento Planar	34,2	34,2	27	74	300	191	180	1,3	58	25	3290,04	Natural	Convexa	Convexa	Saturado
13	Rio do Sul	lada São Pa	637231	7001746	Deslizamento Planar	38	38	23	78	150	55	103	1,3	55	26	3853,2	Natural	Convexa	Convexa	Saturado

O Gráfico 01 apresenta a distribuição dos bairros e a contagem dos deslizamentos cadastrados nos três municípios.

Contagem de Localização

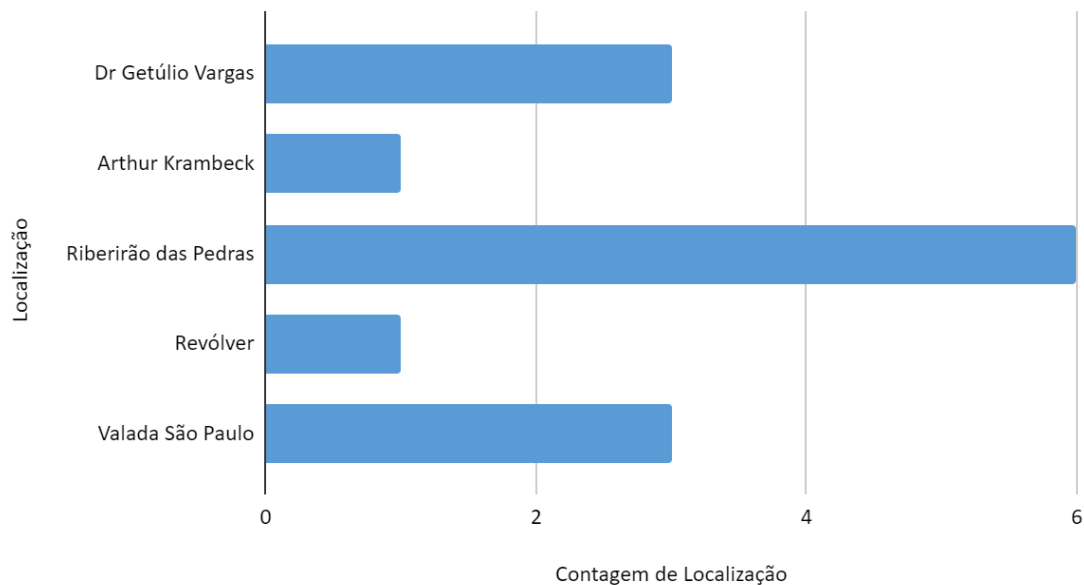


Gráfico 01: Distribuição dos deslizamentos cadastrados e suas localidades.

A análise comprova a variação da inclinação na geração do processo, entre 40° a 70° (Gráfico 02).

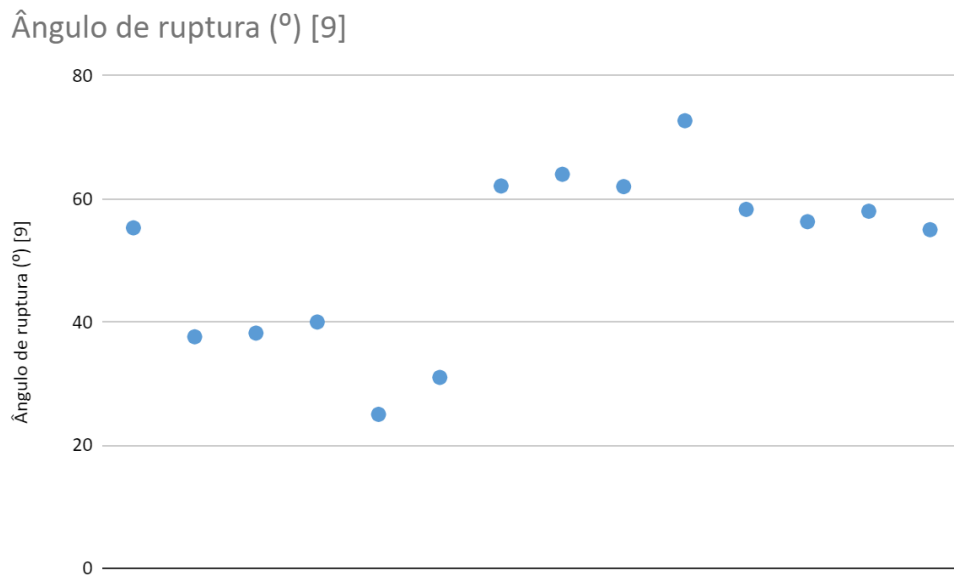


Gráfico 02: Ângulos de ruptura dos deslizamentos cadastrados.

Os deslizamentos com atingimento tendendo ao dobro do comprimento da superfície de ruptura contribuíram para alimentar os fluxos de detritos (Gráficos 03 e 04). A Razão D/C corresponde a divisão entre a distância da área de atingimento com o comprimento da superfície de ruptura.

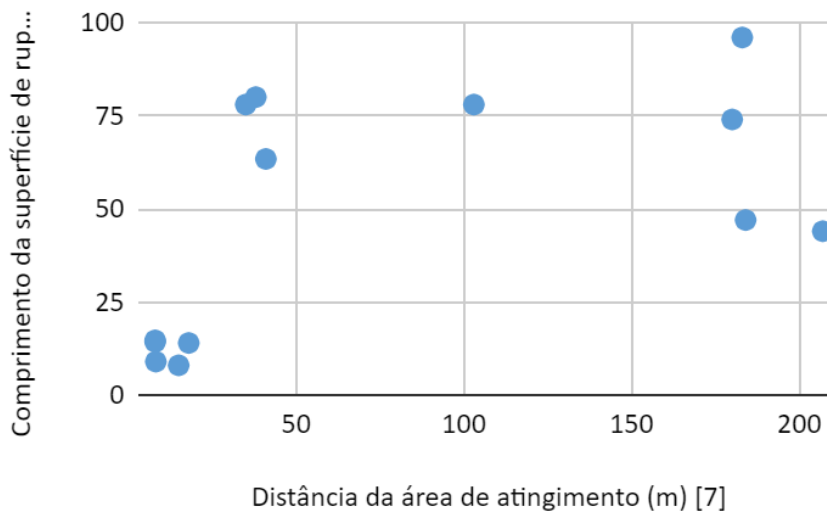


Gráfico 03: Relação entre comprimento da superfície de ruptura e a distância do atingimento.

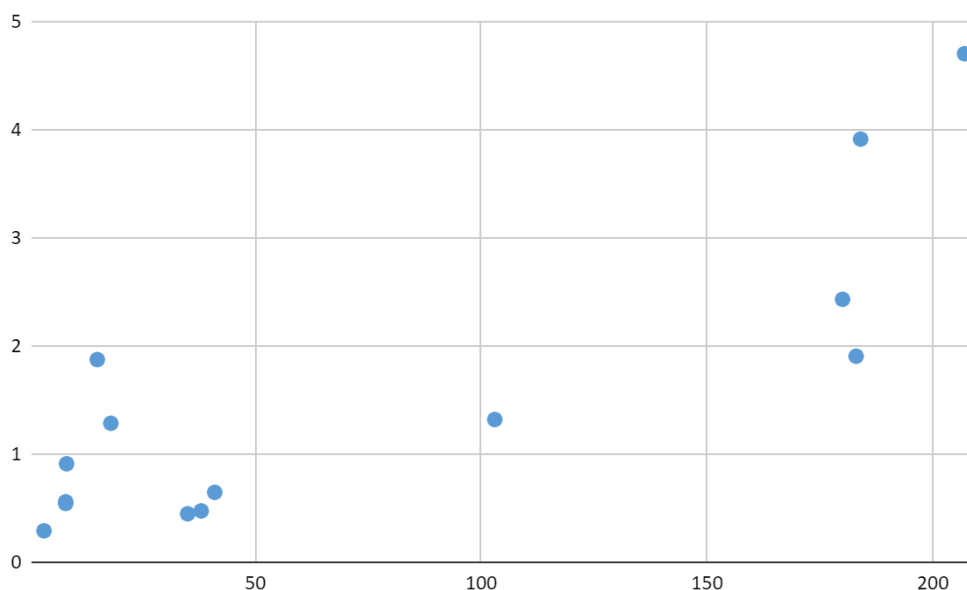


Gráfico 04: Correlação da Razão D/C (eixo Y) com o atingimento máximo dos deslizamentos (eixo X).

As vertentes das encostas apresentam ligeira tendência a convexidade (Gráfico 05).

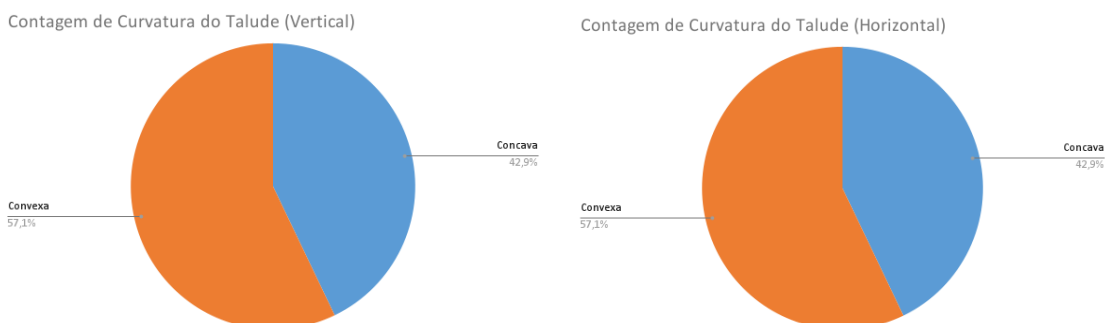


Gráfico 05: Distribuição do tipo de curvatura das encostas.

O Gráfico 06 demonstra que as larguras das rupturas e do material depositado permaneceram semelhantes. Pode-se afirmar que os deslizamentos gerados neste evento não apresentaram espalhamento lateral considerável.

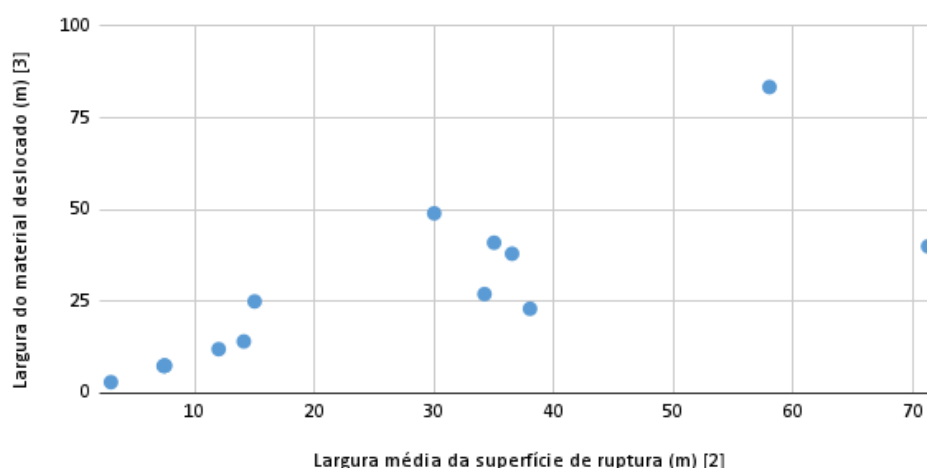


Gráfico 06: Correlação entre larguras de material deslocado e superfície de ruptura.

● Processos geo-hidrológicos

O processo geo-hidrológico no Bairro Valada São Paulo pode ser dividido em quatro estágios cronológicos. O fator desencadeador do evento foram as precipitações anômalas, concentrada principalmente na Serra do Tucano.

No primeiro estágio, as escarpas com declividades superiores a $16,70^\circ$ das quatro sub bacias atingidas (Figura 21) receberam aporte hidráulico suficiente para gerar uma sequência de deslizamentos planares rasos, na quebra de relevo. A saturação do terreno provocou a liquefação dos deslizamentos, aumentando o alcance do material transportado (Figura 22).

A configuração morfométrica em anfiteatro das bacias da região do Valada São Paulo favoreceu a captura do material para drenagem principal. O desnível de 175 metros, entre as áreas de geração e deposição, aumentou a velocidade de escoamento, promovendo aumento de energia do processo. Os fluxos de detritos observados, no segundo estágio, foram de alta energia, mobilizaram sedimentos, tronco de árvores consideráveis e blocos de rocha com dezenas de metros, em massa d'água com alta viscosidade. A alta densidade do material conferiu alto potencial destrutivo.

O terceiro estágio é marcado pela perda de energia de transporte do fluxo de detritos. A inclinação suave do terreno promoveu aumento do arraste dos blocos de rochas. Os mesmos tendem a depositar espalhados cerca de 30° do eixo do fluxo principal. O fluxo perde viscosidade, predomínio de material fino suspenso. Este momento é marcado pela força da água como o principal fator destrutivo. Neste estágio o fluxo de detritos se transforma em enxurrada (Figura 23).

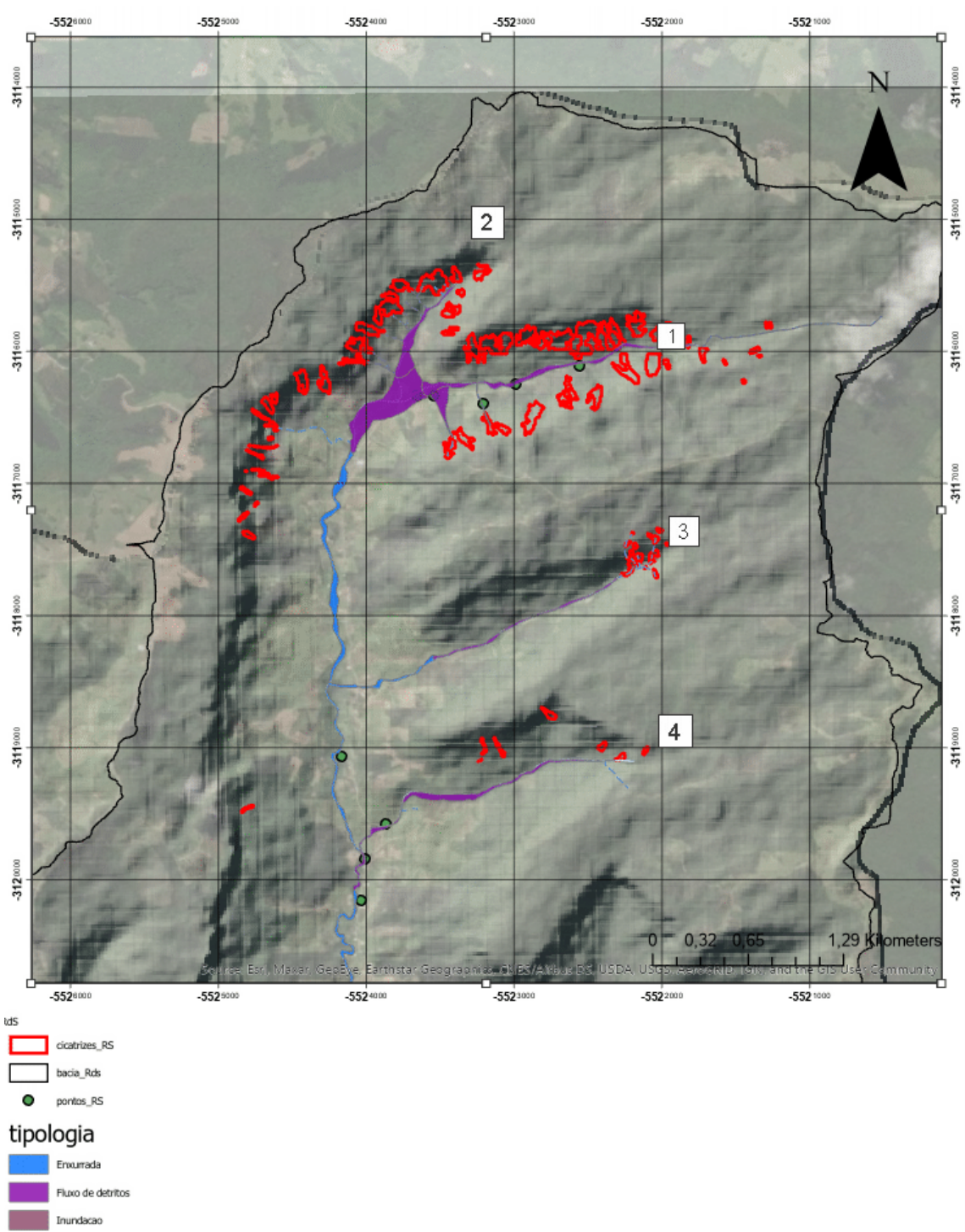


Figura 21: Os números 1,2,3 e 4 indicam as quatro sub bacias que alimentaram o fluxo principal na localidade Valada do São Paulo.

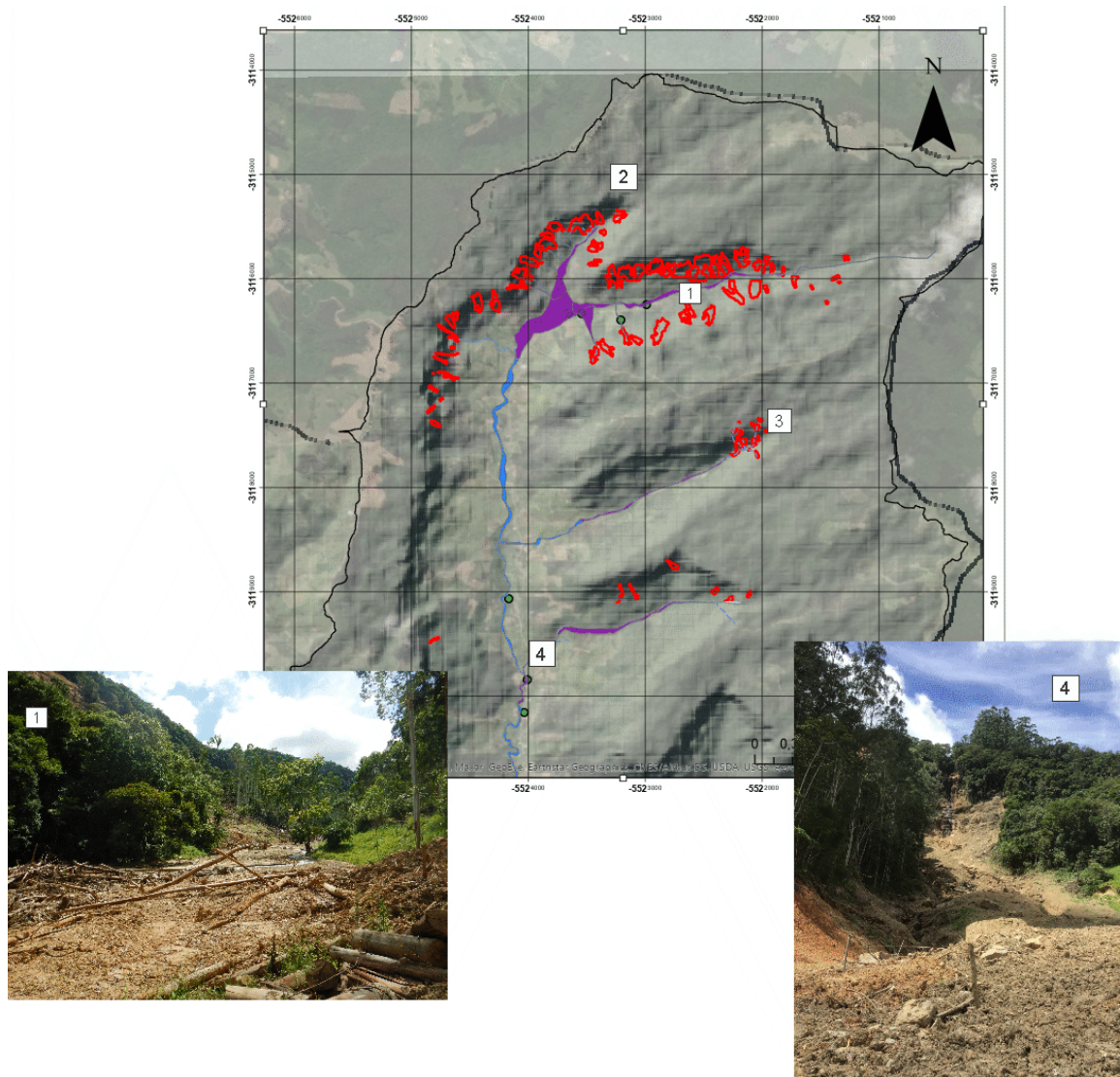


Figura 22: Cabeceira de duas das quatro sub bacias que alimentaram o fluxo de detritos na região.

É importante ressaltar que as áreas suscetíveis a inundações não foram contempladas no mapeamento realizado. No município de Rio do Sul, as inundações normalmente estão associadas às cheias dos rios Itajaí do Oeste, Itajaí do Sul e Itajaí Açu, que fazem com que as águas avancem as planícies de várzeas destes rios e de seus afluentes, atingindo boa parte do município, inclusive o núcleo urbano central. Estas inundações são recorrentes, sendo exceção o ano em que o município não é atingido por inundações, variando apenas a magnitude das inundações. Em 2011 o nível do rio Itajaí-Açu atingiu 12,96 m atingindo 85% do território do município (CENAD, 2013).

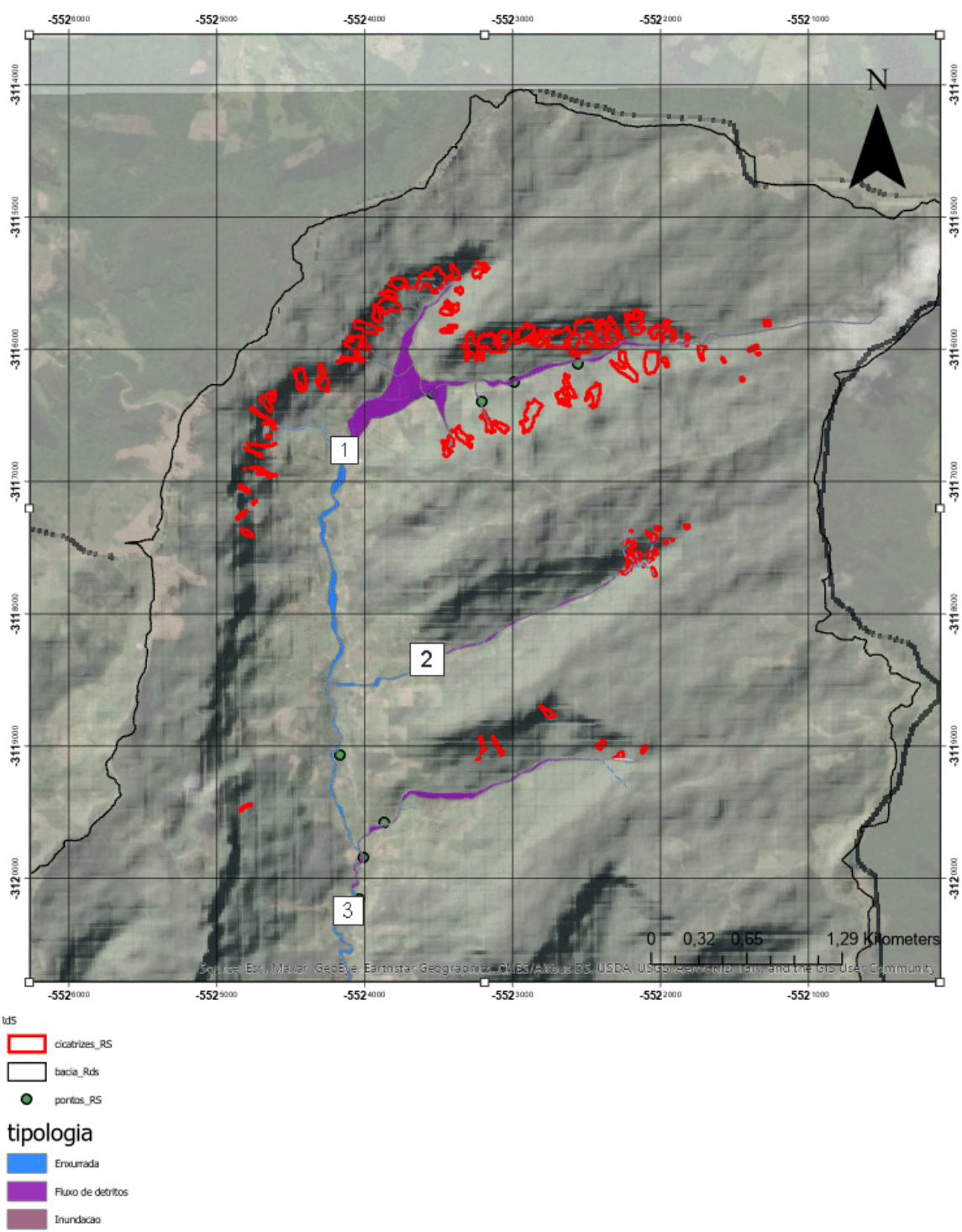


Figura 23: Porção média do evento. Início da enxurrada indicado pelos números 1, 2 e 3 .

O estágio final representa a dissipação da energia da enxurrada. Entretanto, no fim da bacia do Valada de São Paulo, a drenagem principal é barrada hidraulicamente pelo rio de maior potencial hidráulico (Rio Itajaí-Açu) facilitando o processo de inundação à montante.

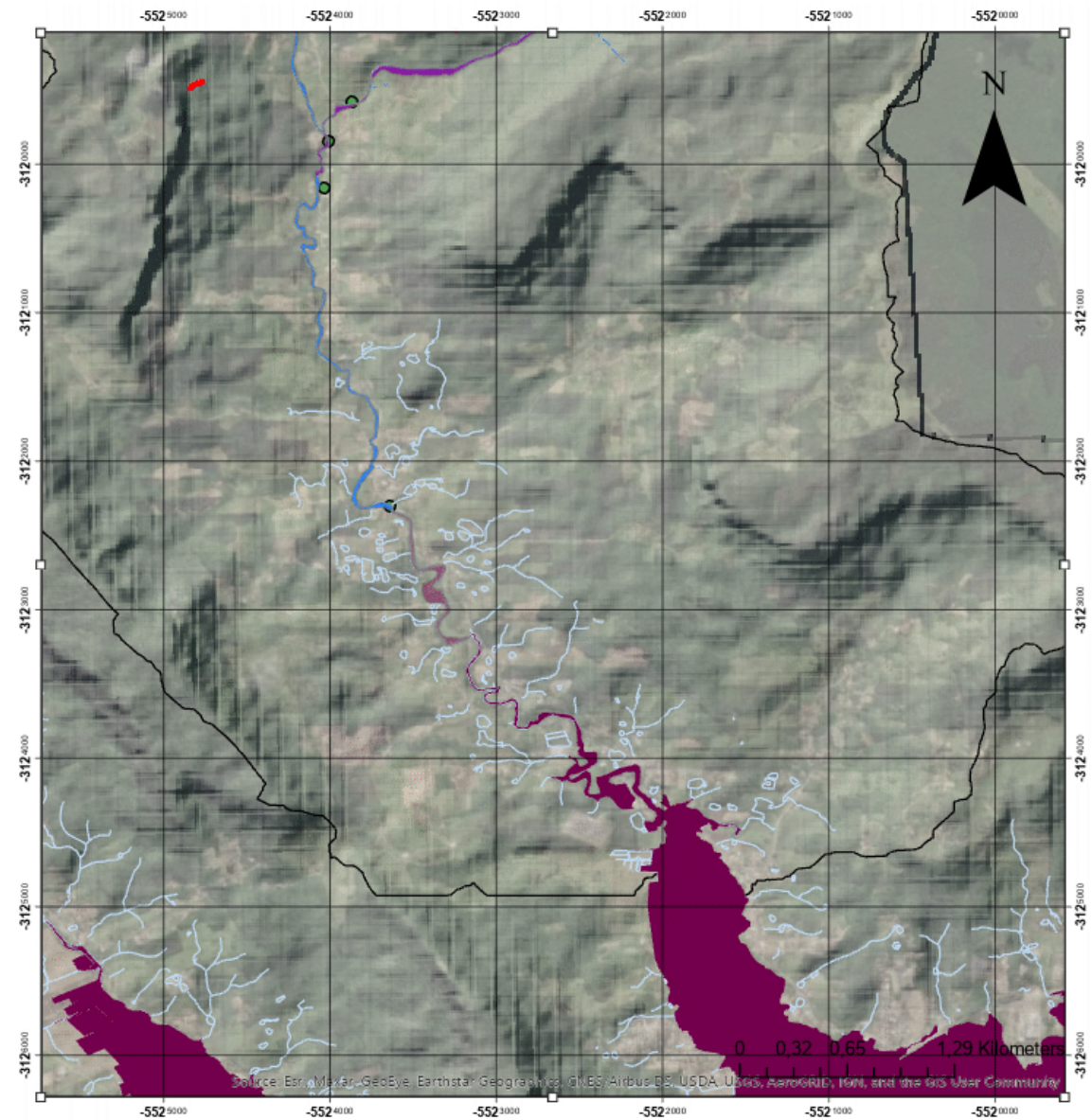


Figura 23: Porção final do evento. Planície de inundação devido ao barramento hidráulico causado pelo Rio Itajaí-Açu. A mancha de inundação foi cordialmente cedida ao SGB/CPRM pelos representantes da Defesa Civil de Rio do Sul. Se refere às inundações ocorridas entre 2009 a 2013, onde a cota histórica do rio atingiu 13,5 a 14 m em relação à calha principal.

A Figura 24 apresenta a síntese dos processos geo hidrológicos no evento de dezembro de 2020. A vistoria de campo permitiu identificar um novo fluxo de detritos que ainda não havia sido reportado/mapeado pela defesa civil. Foram identificados novos locais de deslizamentos de terra além dos reportados.

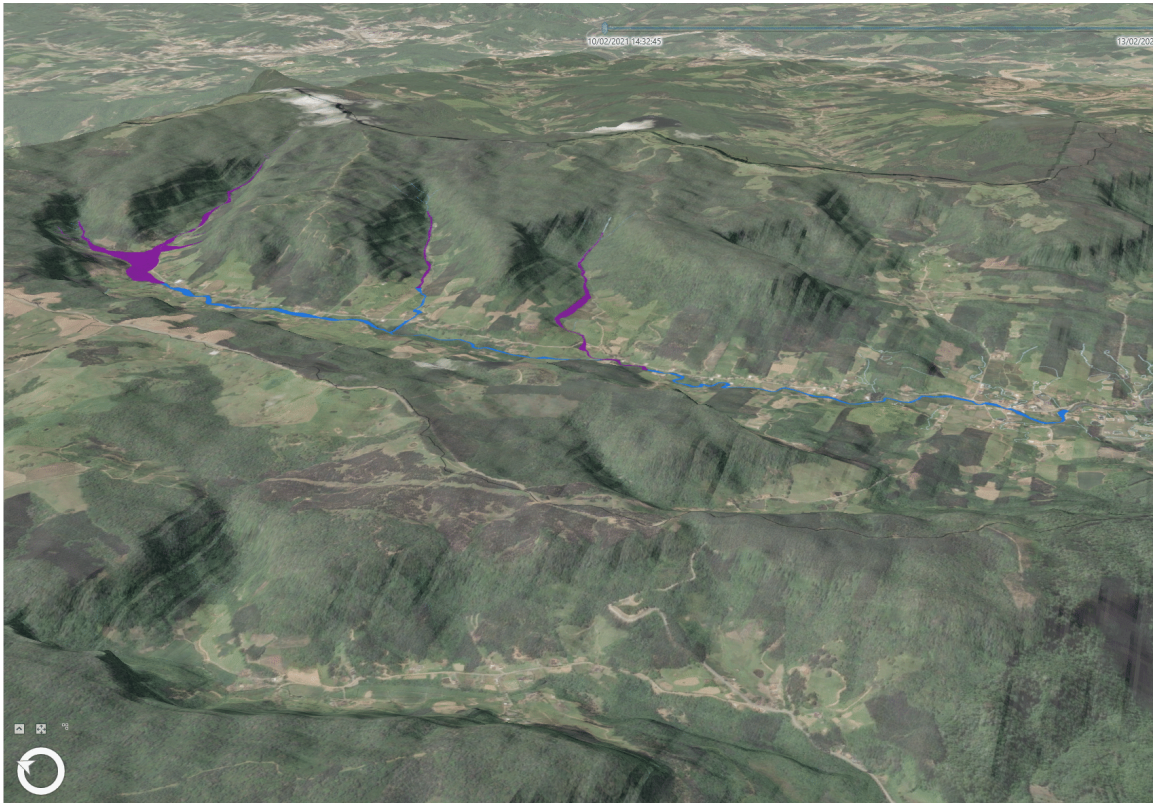


Figura 24: Vista panorâmica da síntese dos processos geo hidrológicos em Rio do Sul

No evento de dezembro de 2020 juntando os três municípios atingidos, constam como resultado dos processos ali ocorridos, vitimando 21 pessoas, 100 desalojados, e pelo menos 172 desabrigados. O evento destruiu pelo menos 80 residências, além dos danos causados na infraestrutura urbana (pontes e vias), interrupção de energia e água potável (Figura 25). Até a data do levantamento de campo (2 meses depois do evento), parte da população afetada ainda não tinha acesso à rede de saneamento básico.

A Figura 26 apresenta o comparativo de destruição, em função dos fluxos de detritos e enxurradas gerados no evento de dezembro de 2020, respectivamente, (1) depois e (2) antes.



Figura 25: Exemplos de construções destruídas ou danificadas pelo fluxo de detritos em Rio do Sul - SC.



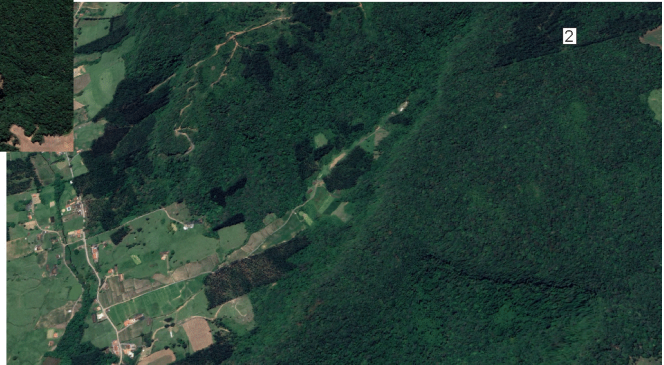




Figura 26: Imagens comparativas de antes e depois do evento de dezembro de 2020. Legenda: 1 - Depois do evento 2 - Antes do evento.

É digno de nota a resiliência no local, a maioria das construções danificadas foram reconstruídas e/ou reparadas. Os blocos de rocha transportados durante os fluxos foram enterrados ou acomodados ao longo das drenagens. Este fato obliterou informações valiosas e descaracterizaram os registros dos processos originais, o que dificultou o entendimento sobre a dinâmica dos mesmos. Com isso, salientamos a necessidade de equipes técnicas do SGB/CPRM visitarem os locais atingidos por estes eventos o quanto antes.

Em contradição, mesmo com a alta resiliência regional, alguns locais ainda encontram impossibilitado o acesso, sendo necessária mais uma visita para melhor coletar os dados nesses locais.

● Metodológicas

A modelagem regional de suscetibilidade a MGMs foi assertiva. As áreas classificadas em alto, médio e baixo corresponderam com relevância ao evento ocorrido em 2020. A modelagem de MGMs demonstrou que todas as cicatrizes de deslizamentos geradas pelo evento ocorrem na classe alta (Figura 27).

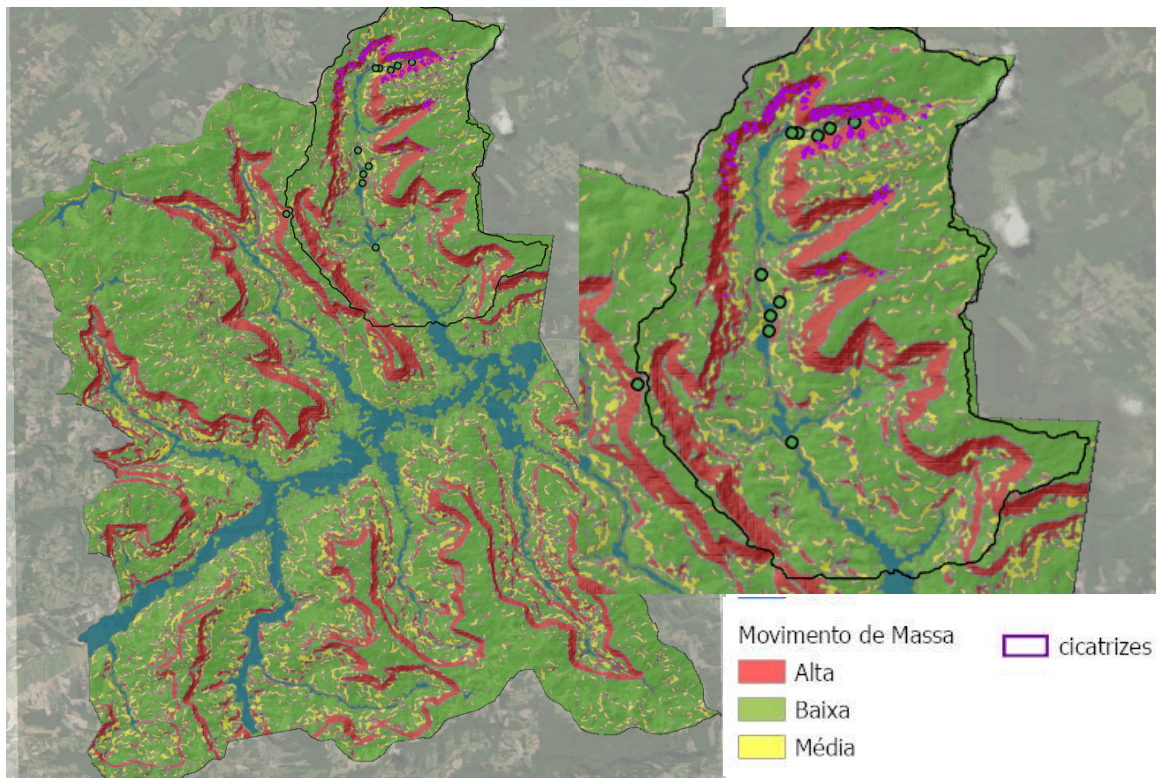


Figura 27: Modelagem para MGMs do SGB/CPRM para o Estado de Santa Catarina. Cortesia da Divisão de Geologia Aplicada do DEGET.

O evento Dez 2020 demonstrou que duas das quatro sub bacias de fluxo foram modeladas como enxurrada, sendo que as duas que tiveram maiores proporções não foram assinaladas pela modelagem, a modelagem não foi assertiva no quesito fluxo de detritos, nenhuma bacia do município foi considerada pela modelagem para essa tipologia de processo. (Figuras 28 e 29).

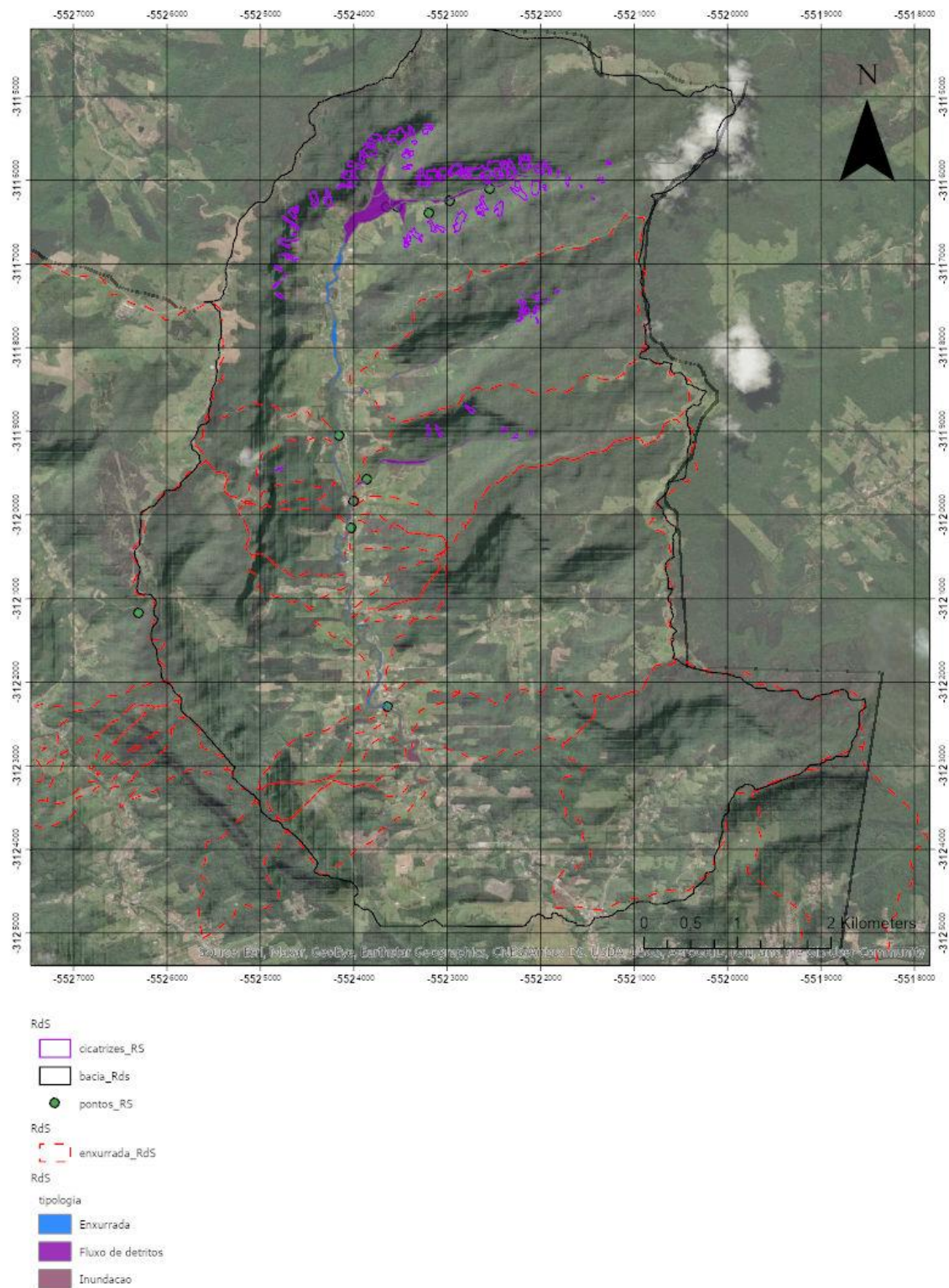


Figura 28: Bacias suscetíveis a enxurradas da modelagem regional do Estado de Santa Catarina e da localidade de Valada de São Paulo.

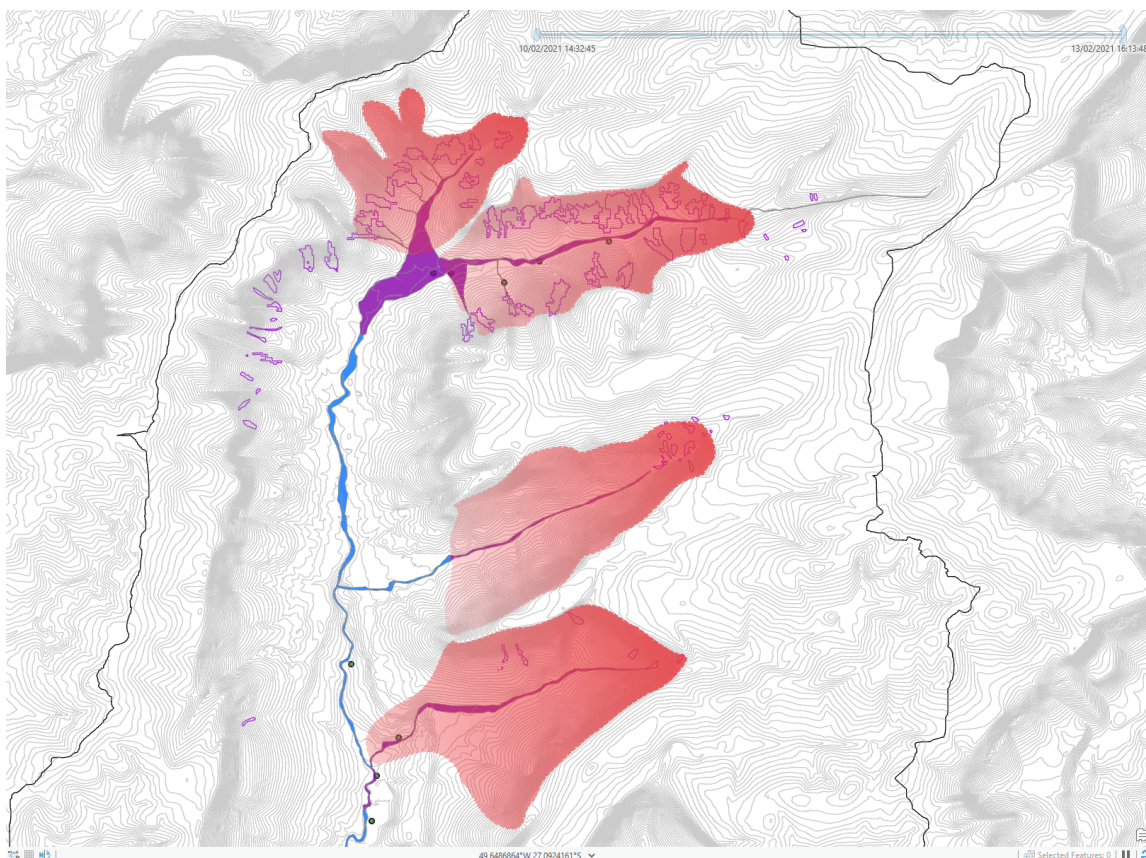


Figura 29: Detalhe da bacia do Valada de São Paulo e a individualização de sub bacias de fluxo de detritos, que não foram sinalizadas na modelagem regional de suscetibilidade. Legenda: Bacia de fluxo de detritos em vermelho, provenientes do evento de Dezembro de 2020, cicatrizes de deslizamento do evento em roxo e delimitação da Bacia da Valada de São Paulo tracejada em preta.

De modo geral, as bacias modeladas não previram a potencialidade de fluxo de detritos na localidade afetada. Sugere-se que a metodologia de identificação de enxurradas e fluxos deveria ser atualizada, incorporando novos parâmetros e sem diferenciação entre enxurrada e fluxo de detritos.

Ademais, considera-se que toda bacia de enxurrada e/ou fluxo de detrito deveria ser classificada como **bacias sujeitas a processos geo-hidrológicos de alta energia**.

Entende-se que é necessário a incorporação sistemática de metodologia de análise de risco direcionada à estas bacias. Bem como, a disseminação para toda equipe técnica de campo.

Em 2018 o Serviço Geológico do Brasil realizou a avaliação de Perigo a Movimentos Gravitacionais de Massa no município. Foram identificadas quarenta e três áreas-alvo pelos gestores públicos municipais (Dias *et al.*, 2019). Tais locais estão concentrados nas regiões central e sul do território municipal, situados na área urbana da sede e seu entorno (Figura 30). Na ocasião foram identificadas áreas relativas à expansão urbana, para novos empreendimentos residenciais, industriais e áreas com risco geológico consolidado.

A porção urbana do Bairro Valada São Paulo foi contemplada como área-alvo para a aplicação do mapeamento (Dias *et al.*, 2019). Entretanto, a região afetada pelo evento de dezembro de 2020 não foi indicada como prioritária. Possivelmente devido a região ser compreendida como área rural.

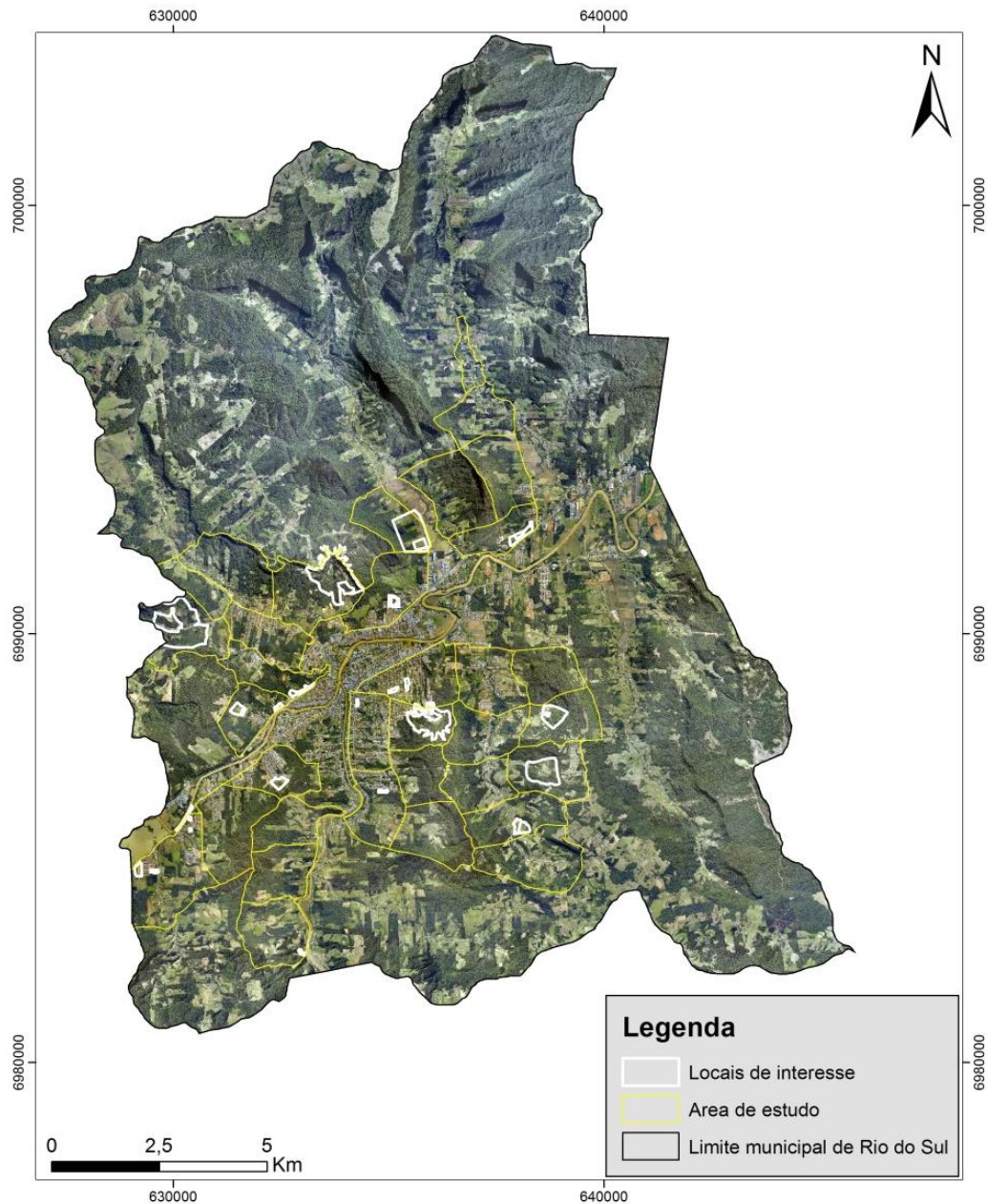


Figura 30: Localização das áreas-alvo no mapeamento de Perigo (Retirado de Dias *et al.*, 2019).

A avaliação de perigo identificou 599 setores de perigo a movimentos gravitacionais de massa (Dias *et al.*, 2019). O Quadro 02 apresenta os setores distribuídos segundo os processos.

Quadro 02: Número de setores de perigo por processo geológico (Retirado de Dias *et al.*, 2019).

Processo	Total de setores
Deslizamento Planar	559
Deslizamento Rotacional	06
Fluxo de detritos	05
Queda de blocos	29

Pela análise de campo, fica evidente que os deslizamentos planares induzidos foram contemplados na metodologia de Perigo. De modo geral, a metodologia de perigo contemplaria os deslizamentos planares naturais, se a área atingida do Bairro Valada São Paulo fosse identificada como de interesse pelos gestores públicos (Figura 31).

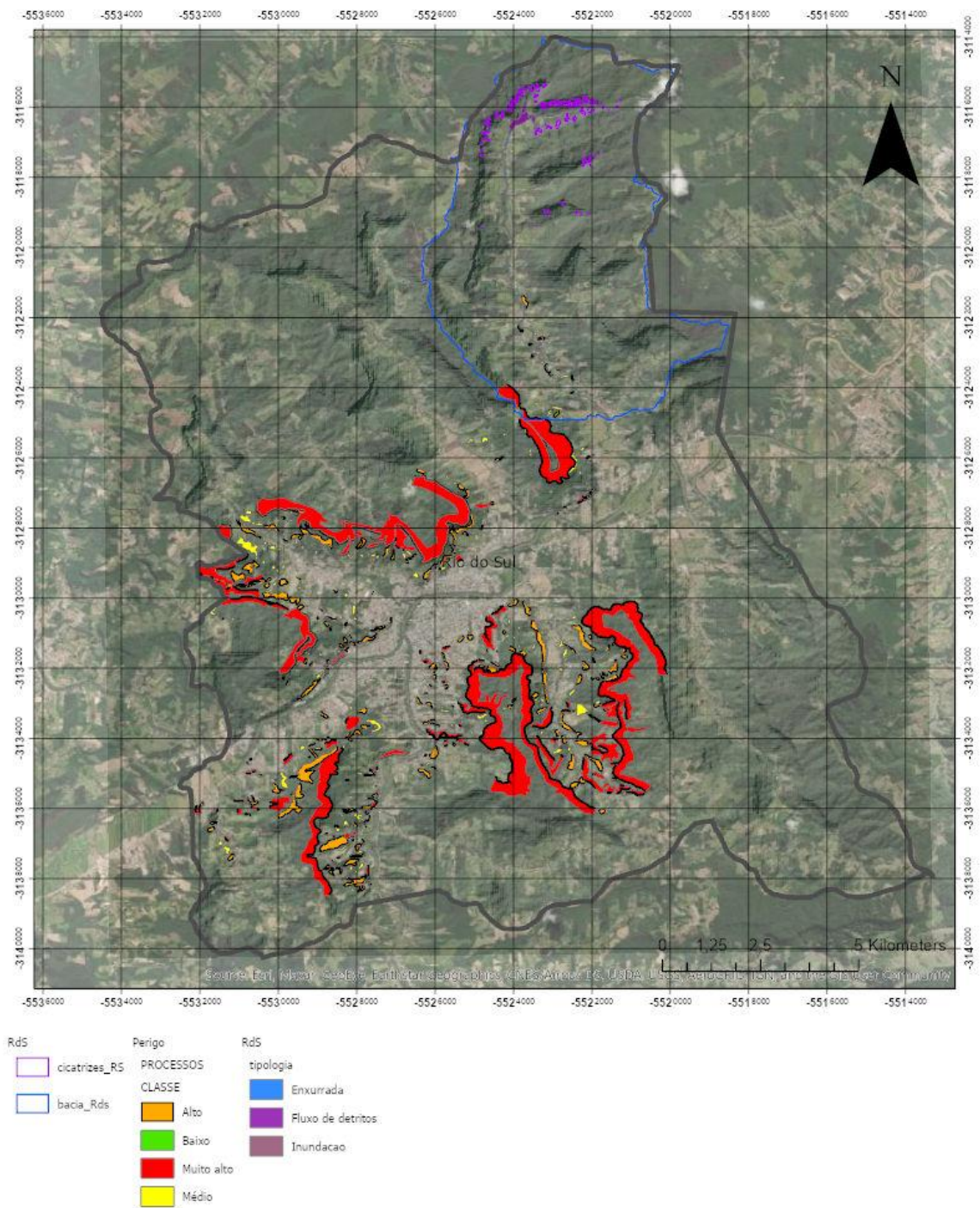


Figura 31: Cartografia de Perigo Rio do Sul. Setores de muito alto, alto, médio e baixo perigo a MGM.

Recomendações

Recomenda-se a continuação das atividades de campo para coletar informações relevantes para melhor caracterização do evento de dezembro 2020 no município;

Recomenda-se a revisita técnica para a atualização sistêmica da setorização do risco geológico alto e muito alto a MGMs e Inundação em Rio do Sul;

Recomenda-se a modelagem de perigo e avaliação de campo da bacia hidrográfica da localidade Valada São Paulo;

Recomenda-se a validação dos setores do mapeamento de perigo a movimentos gravitacionais de massa a partir das cicatrizes dos deslizamentos provocados pelo evento de 2020, na área urbana.

Recomenda-se a aplicação da metodologia de risco nos setores de perigo, de acordo com o preconizado no manual de mapeamento de perigo e risco - Projeto GIDES (Pimentel & Dutra, 2018) de modo a avaliar a viabilidade de incorporação na metodologia de setorização de risco.

Equipe técnica

Thiago Dutra
Victor Augusto Hilquias Silva Alves

Referências Bibliográficas

SPG/DEGE, 2016. Atlas Geográfico de Santa Catarina. Secretaria de Estado do Planejamento -SGP - Diretoria de Estatística e Cartografia - DEGE, IDESC. Segunda edição. Fascículo 1. DOI: 105965/978858302077612016

CPRM, 2012. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Presidente Getúlio, Santa Catarina <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18812.1>

CPRM, 2018. Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações: Presidente Getúlio, SC. Orgs: Queiroz, L. J. S. e Santos, L.F.. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18812>

Dias, G.P., Rodrigues, J.G., Silva, L.F.M., Ribeiro, R.S. 2019. Mapeamento de perigo a movimentos gravitacionais de massa: relatório técnico, Rio do Sul, SC. Relatório técnico: CPRM, 2019. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21209>

IBGE, 2021. População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020. Site IBGE, Consulta: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/rio-do-sul.html> acesso 18/08/2021 às 16:00hs.

CENAD, 2013. Defesa Civil do Brasil - Ministério da Integração Nacional. Relatório consolidado sobre as intervenções no município Rio do Sul. GeoEnvi - Geologia e Meio Ambiente Ltda - Contrato n 04/2013.

IBGE, 2010. Densidade demográfica: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Guimarães, D. P., Branco, H. C., Andreis, L.G.K. 2015. Relatório de mapeamento sedimentar - Região de Mirador, Presidente Getúlio (SC). Universidade Federal do Paraná. 36pp. DOI: [10.13140/RG.2.2.25732.17289](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25732.17289)

Krebs, A. S. J.; Menezes Filho, N. R. de. Mapa geológico: folhas de Witmarsun, Dona Ema, Taió, Rio do Sul, Trombudo Central, Itaporanga. In: Projeto mapeamento geológico para carvão área de Taió / Rio do Sul, SC: relatório final. Porto Alegre: CPRM; DNPM, 1984. 1 mapa. Escala 1:50.000. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/3474>

Mack, R. 2001. Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Brazilian Archives of Biology and Technology - An International Journal. pp 169 - 288. ISSN 1516-8913

Michel, G. P.; Schwarz, H.; Abatti, B.H.; Paul, L.R.; Silva, M.A.; Zanandrea, F.; Salvador, C.G.; Censi, G.; Biehl, A.; Kobiyama, M. 2021. Relatório técnico dos desastres de dezembro de 2020 nos municípios de Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul - SC. Volume I. porto Alegre: GPDEN/IPH/UFRGS, 53p.

Milani, E. & Melo, J. & Souza, P. & Fernandes, L. & França, A., (2007). Bacia do Paraná. Boletim de Geociências - Petrobras. 15. 265-287.

Oliveira, V.G. e Nascimento, M.S. 2018. Geologia da porção norte da Folha de Rio do Sul (SG-22-Z-C-III2), leste da Bacia do Paraná, região de Presidente Getúlio e Ibirama (SC). Anais digitais do 49º Congresso Brasileiro de Geologia. <http://cbg2018anais.siteoficial.ws/resumos/8803.pdf> Acesso em 02/08/2021 às 09:00.

Pandolfo, C.; Braga, H. J.; Silva JR, V. P. da; Massignam, A. M., Pereira, E. S.; Thomé, V. M. R.; Valci, F.V. Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom

Pimentel, J. & Dutra, T. dos S. 2018. Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM. 2018.

Versão 1. 213 p. Disponível em:
<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Projeto-GID-ES-JICA-5393.html>

Pozzobon, M. ; Pimentel, J. ; Silva, S. F. ; Dutra,T.; Pfaltzgraff, P. ; Peixoto, D.; Rodrigues, D. ; Brenny, M. E. . A evolução recente das metodologias de mapeamento de perigo e riscos a movimentos gravitacionais de massa no Brasil.. In: Marcos Mattedi; Leandro Ludwig; Maria Roseli Rossi Avila. (Org.). Desastre de 2008+10 Vale do Itajaí: Água, Gente e Política - Aprendizados. 1ed.Blumenau - SC: Edifurb, 2018, v. 1, p. 91-114.